

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



Relación entre el consumo de concentrado-agua y el crecimiento de becerros
Holstein Friesian en etapa post-destete, suplementados con un compuesto
probiótico-prebiótico

Por:

Sindy Yajhana Hernández Gómez

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

Relación entre el consumo de concentrado-agua y el crecimiento de becerros

Holstein Friesian en etapa post-destete, suplementados con un compuesto

probiótico-prebiótico

Por:

Sindy Yajhana Hernández Gómez

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito

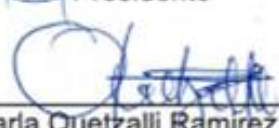
parcial para obtener el título de:

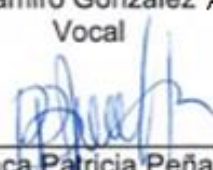
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

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

Relación entre el consumo de concentrado-agua y el crecimiento de becerros

Holstein Friesian en etapa post-destete, suplementados con un compuesto

probiótico-prebiótico

Por:

Sindy Yajhana Hernández Gómez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

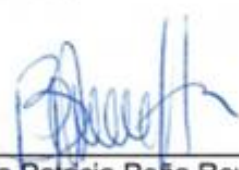
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Ramiro González Avalos
Asesor Principal



MC. 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

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por las herramientas y el espacio necesario para el desarrollo de mi formación académica.

A la **MC. Karla Quetzalli Ramírez Uranga**, por todo su apoyo, su compromiso por una educación de calidad y paciencia para lograr este trabajo.

A **las y los profesores** que fueron parte de mi formación académica, que me brindaron su apoyo y conocimiento.

A **mis papás y familia**, gracias por su apoyo incondicional, los amo.

A **mis amigos**, que fueron como una familia.

A **Dios** por darme vida para permitirme culminar esta etapa de mi vida.

DEDICATORIA

A **mi mamá**, gracias por amarme, por guiarme, tus consejos, las risas y por acompañarme siempre, sin duda tú has sido mi inspiración para seguir; eres mi mejor amiga y la mejor mami. Te amo para siempre, en la eternidad de mi alma.

A **mi papá**, por todo el amor que me das, por creer en mis sueños y ser tu quien me ayuda a alcanzarlos. No me canso de decir que eres un gran ejemplo para nosotras, te admiro y te amo.

A **mi nana Mechita**, por cuidar de mí y por amarme como a nadie, por siempre acompañarme en esta vida y ser mi cómplice, la mejor abuela y amiga, gracias por tanto, a la nana más amorosa, la amo.

A **Danito**, por ser un regalo precioso, por la luz que trajiste a la familia y por ser un niño maravilloso.

A **Belem, Itza, Karla y Belli**, por su compañía y amor.

A mis tías, **Yane, Marthi, Lupita y Luci**, que me acompañaron, y alentaron a seguir estudiando siempre.

A **ti**, por acompañarme en esta etapa de mi vida, por todas tus palabras de apoyo y las veces que me has sostenido.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
RESUMEN.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General	2
1.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Tipos de sistemas de producción animal	4
2.1.1. Características de los sistemas extensivos	4
2.1.2. Desarrollo de sistemas intensivos	6
2.1.3. Sistemas de crianza artificial.....	7
2.2. Generalidades biológicas de los rumiantes	8
2.2.1. Fisiología del rumen	8
2.2.2. Anatomía del rumen.....	9
2.2.3. Microbioma ruminal	10
2.2.4. Relación rumen e inmunidad.....	12
2.3. Sistemas de alimentación	13
2.3.1. Importancia del suministro de calostro	14
2.3.2. Alimentación líquida	15
2.3.3. Alimentación sólida	17
2.3.4. Uso de forrajes en dietas y su efecto sobre la ganancia de peso ..	18
2.3.5. El agua como factor para el desarrollo del becerro	19
2.3.6. Estrategias de manejo en el destete	20
2.3.7. Comportamiento no nutricional de los becerros.....	21
2.4. Periodo de transición.....	22
2.5. Probióticos y prebióticos	23
2.6. Becerros.....	25

2.6.1. Crecimiento y desarrollo	25
2.6.2. Bienestar animal en sistemas de crianza artificial	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Ubicación geográfica	28
3.2. Diseño experimental	28
3.3. Manejo general	29
3.4. Variables	30
3.5. Análisis estadístico	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. Consumo de alimento iniciador.....	33
4.2. Consumo total de agua.....	36
4.3. Ganancia de peso y GDP	39
4.4. Medidas morfométricas	43
5. CONCLUSIONES	49
6. LITERATURA CITADA.....	50

RESUMEN

La etapa de crianza es determinante para el desarrollo del becerro destinado a la engorda, por lo que el uso de biotecnologías como los probióticos resulta de interés para mejorar su rendimiento. El objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre el consumo de concentrado-agua y el crecimiento de becerros Holstein Friesian en etapa post-destete, suplementados con un compuesto probiótico-prebiótico. Para esto, se seleccionaron 6 becerros machos de la raza Holstein Friesian, y fueron asignados a 2 tratamientos en su etapa pre-destete (55 días), G-CON: grupo control y G-ROW: grupo suplementado con 10 g diarios de compuesto probiótico-prebiótico en el sustituto lácteo. Se midió el consumo de alimento iniciador y de agua, evaluando su relación con el peso, ganancia diaria promedio (GDP) y medidas morfométricas en la etapa post-destete (día 61 al 138 de vida). La suplementación mostró un efecto residual favorable en el desempeño de los becerros durante el post-destete, principalmente en el consumo de agua, lo que es un indicador del buen desarrollo productivo de los animales.

Palabras clave: Becerro, Desarrollo, Ganancia diaria promedio, Rentabilidad

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Porcentaje de la cámara estomacal en relación al peso (bovinos).....	9
Cuadro 2 Parámetros de calidad del agua para ganado bovino	20
Cuadro 3 Análisis químico nutricional del concentrado iniciador.	29
Cuadro 4 Análisis químico nutricional del heno de alfalfa.	30
Cuadro 5 Mediciones morfométricas en becerros sometidos a los tratamientos G- CON y G-ROW durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias $\pm$ error estándar de la media (SEM).	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación visual de la musculatura que delimita el rumen externamente (surcos). Los surcos ruminales se denominan: saco craneal (SC); saco ciego caudodorsal (CDBS); saco ciego caudoventral (CVBS); saco dorsal (DS); saco ventral (VS) (Tomado de Soltis et al. (2023).	10
Figura 2 Mecanismo de acción de los probióticos y su interacción con la microbiota. Fuente: Camacho-Cruz et al. (2022).	24
Figura 3 Mapa de la unidad experimental.	28
Figura 4 Consumo semanal de alimento iniciador (kg) en becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-ROW durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias $\pm$ error estándar de la media. Tra = efecto de tratamiento; Sem = efecto de la semana; Tra $\times$ Sem = interacción tratamiento $\times$ semana. Diferencias estadísticas se consideraron significativas cuando $P < 0.05$	34
Figura 5 Consumo total de agua (L) en becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-ROW durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias $\pm$ error estándar de la media (SEM). * = indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$).	37
Figura 6 Ganancia de peso (kg) y ganancia diaria promedio (GDP) en becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-ROW durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias $\pm$ error estándar de la media (SEM). Diferencias estadísticas se consideraron significativas cuando $P < 0.05$	40

1. INTRODUCCIÓN

La FAO (2009), estima que para el año 2050 el aumento de la demanda de productos que son de origen animal usados en la alimentación humana será de 60 a 100%, esto está relacionado al incremento demográfico que se tiene un estimado de 2 mil millones de personas. Por otro lado, Simmons (2014), menciona que la clase media crecerá a 3 mil millones de personas, lo que hará que aumente la demanda de alimentos.

Según datos de la OCDE-FAO (2017), se prevé que la producción mundial de carne tendrá un aumento del 13% más para el 2026 en relación a lo que ellos establecen como periodo base que es del 2014-2016, este aumento será de 39 millones de toneladas, que permitirán alcanzar 353 millones de toneladas de carne, es decir la carne de bovinos se proyecta con un aumento del 80%, de este porcentaje el 75% es producido por países como Argentina, China, Brasil, India, México y Pakistán, además hay que mencionar que el consumo per cápita aumentara entre 6 al 17% para el 2026.

Es importante conocer la historia del hombre y los animales, pues estos siempre han tenido una estrecha relación, ya que son una fuente de alimento, protección y compañía, dentro de las especies más destacadas son los rumiantes, pues estos tienen la capacidad de convertir alimentos de muy baja calidad, fibrosos o subagrícolas en alimentos de alta calidad nutritiva; por eso es que el bovino es una de las especies que mejor se ha adaptado a la domesticación (FAO, 1997).

Datos consultados del SIAP en 2024, indicaron que la población ganadera bovina de leche y carne en la Comarca Lagunera durante el 2022 fue de 536,288 y 440,142

animales respectivamente, se ha considerado que esto compone el 20% de producción bovina a nivel nacional, por ello la importancia de producción de ganado bovino en esta región.

El objetivo principal de las crías de becerros y vaquillas de reemplazo es poder criar animales sanos, que además estos sean nutricionalmente eficientes, bajo un sistema humanitario y rentable, hay que reconocer que los problemas de bienestar animal que están relacionados a la producción de becerros son: la morbilidad, mortalidad, manejo de calostro, alimentación, transporte, aislamiento, castración, descornado y la eutanasia (Van Niekerk *et al.*, 2021). Existen oportunidades para mejorar el bienestar de los becerros con prácticas que sean aceptables para la industria, por ejemplo: la capacitación del personal, el cumplimiento de leyes y la participación de veterinarios que se involucren en el bienestar animal en la explotación (Reed *et al.*, 2022).

1.1. Objetivo General

Evaluar la relación entre el consumo de concentrado-agua y el crecimiento de becerros Holstein Friesian en etapa post-destete, suplementados con un compuesto probiótico-prebiótico.

1.2. Objetivos Específicos

- a) Cuantificar el consumo de concentrado en el periodo post-destete.
- b) Medir el consumo de agua en el periodo post-destete.
- c) Registrar el peso semanal de los becerros Holstein Friesian.

- d) Evaluar el crecimiento morfométrico (altura a la cruz, altura a la cadera, circunferencia torácica, circunferencia abdominal, largo y condición corporal) semanal en becerros Holstein Friesian.
- e) Realizar el cálculo de la ganancia de peso.

1.3. Hipótesis

Los becerros suplementados con un compuesto probiótico-prebiótico en su etapa de crianza, tendrán mejor consumo de concentrado-agua y crecimiento durante la etapa post-destete.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Tipos de sistemas de producción animal

La OIE (2019), reconoció a diversos sistemas de producción de ganado vacuno de carne, donde se mencionan a tres: los sistemas intensivos donde existe dependencia del hombre para satisfacer necesidades básicas (agua, alimento y refugio), es decir el ganado está en confinamiento, se habla también del sistema extensivo, en que el ganado esta en libertad lo que le permite tener autonomía para la selección de alimento, agua y refugio; por último se menciona a los sistemas semi-intensivos que es cuando el ganado se encuentra en una combinación de crianza tanto extensivo e intensivo, ya sea simultaneo o de forma alternada según sean las condiciones del ambiente, clima y el estado general del animal.

Se estima que la ganadería a nivel mundial sustenta la economía de aproximadamente 1.30 millones de personas y es el 40% del valor global en la producción agropecuaria a nivel mundial (Tigmasa-Paredes, 2022). Cabe destacar que, en México, la ganadería se ha transformado de manera acelerada por la demanda creciente de productos cárnicos y lácteos, esto es desde la década de los setenta, lo que en la actualidad se conoce como la “revolución ganadera” (Palma-García, 2014).

2.1.1. Características de los sistemas extensivos

Este tipo de sistema de producción ganadera se basa en la utilización de especies ganaderas de interés zootécnico, se busca que estos animales aprovechen los recursos naturales con un sistema de alimentación en pastoreo, bajo este contexto

se usa ganado con un genotipo nativo de la región o que este adaptado a esta y sus factores limitantes y ecológicos (Martín-Bellido *et al.*, 2001).

Estos sistemas se pueden definir de diversas formas en el mundo por su amplia variedad de sistemas de alimentación y manejo, por ejemplo en Nueva Zelanda e Irlanda se tiene un uso limitado de alimentos diferentes al forraje, mientras que América del Sur y el norte de Australia tienen sistemas de pastoreos tropicales y subtropicales, es decir forrajes que son diferentes al de otras partes del mundo, mientras que en Estados Unidos hay sistemas sin grano e híbridos con forrajes que están almacenados o concentrados (Soder y Brito, 2023).

Mientras que en México, la ganadería es una de las actividades pecuarias de mayor importancia, ya que se busca tener un mayor aprovechamiento de insumos agrícolas y sub-agrícolas; en la mayoría de las veces son razas criollas usadas para la producción de leche en la ordeña, y de carne con las crías logrando así ciclos productivos de doble propósito, el uso de tecnologías es escaso y además el entorno de crianza carece de diversos recursos esenciales para lograr optimizar la ganadería, es por ello que el nivel productivo es considerado bajo (Rojo-Rubio, 2009).

Para el sistema de ganadería no intensivo, lo dominante es la cría y venta de becerros al destete para ser de doble propósito, en estos sistemas semi-estabulado el ganado está en potrero libre, ramonea arboles dispersos en los potreros, estos esquemas de cría son funcionales gracias al manejo de sistemas pastoriles (FONCET, 2022).

Ramírez-Rivera et al. (2019), demostraron que existe una amplia relación entre la época del año y la disponibilidad de forrajes, pues esto determinara el sistema de pastoreo, cuando hay una mayor superficie de pastura incrementara la producción individual, mientras que el suministro de concentrado a mayor cantidad en temporadas de baja pastura no logra aumentar la producción de leche.

2.1.2. Desarrollo de sistemas intensivos

La industria de producción bovina se ha intensificado en todos los elementos que la comprenden, el establo, la región y los animales, con el objetivo de aumentar la producción se produce con hatos más grandes, tecnologías aplicadas en crianza, alojamiento, nutrición, concentrados y forrajes de alta densidad energética y proteica, uso de antibióticos y hormonas, personal capacitado o maquinaria; logrando así mayor eficiencia y productividad (Clay *et al.*, 2020).

Durante los últimos años, ha aumentado la adopción de sistemas de producción intensivos, es claro que existen efectos positivos sobre la eficiencia y como consecuencia buenos resultados económicos, pero también esto ha significado cambios estructurales según el nivel de intensificación (Alvarez *et al.*, 2008).

Debido a la demanda creciente sobre la carne y leche, la producción de forrajes se ha vuelto voluminoso con una expansión en la superficie de tierras para la producción del mismo, lo que ha transformado la ganadería, por ello ahora los sistemas intensivos en corrales de engorde y centrales lecheras son una manera de poder satisfacer las demandas de la población (Steinfeld *et al.*, 2006).

El sistema de producción bovina puede estar orientada a la producción cárnica, donde se usan concentrados o residuos de cervecería, ya que el engorde a pastoreo tiene una menor tasa de conversión; mientras que vacas productoras de leche están sometidas a sistemas de alimentación con concentrado y estabuladas, lo que permite una producción de leche mucho mayor si la comparamos con vacas alimentadas únicamente a pastoreo (FAO, 2011).

El sistema intensivo es cuando la producción de materia prima a gran cantidad se produce en un tiempo corto y en superficies reducidas, ejemplo de ello son los bovinos, la recría de becerros en explotaciones o la terminación en corrales de alimentación o feedlots (Rossner *et al.*, 2010).

2.1.3. Sistemas de crianza artificial

La crianza de becerros cobra importancia para el mantenimiento y la expansión de hatos de la Comarca Lagunera, pero aún bajo este contexto y condiciones de la región, hay una gran problemática en los establos relacionada a enfermedades, mortalidad, resistencia de las bacterias a los antibióticos, y además el uso incorrecto de las tecnologías en los animales (González-Avalos *et al.*, 2019). De aquí surge la importancia de desarrollar esquemas de manejo y alojamiento en becerros que consideren factores como nutrición, comportamiento y comodidad, con el objetivo de que los animales tengan un mejor desarrollo y rendimiento, estos esquemas nos aseguran un nivel de comodidad de los becerros, donde se busca el desarrollo de métodos a medida que los rebaños crecen y así la alimentación y el manejo de becerros se ajusten a mejores prácticas y los protocolos de alimentación sean más eficientes (Kertz *et al.*, 2017).

En los sistemas especializados, la cría es separada de la madre al nacimiento y se realiza una crianza corta con leche de 70-90 días acompañada de una alimentación con dietas de alta densidad nutricional, por tal motivo debe de existir un conocimiento de la importancia relativa de factores: genéticos, de alimentación, cargas parasitarias, enfermedades, microambiente físico, entre otros que afectan el crecimiento del becerro; esto se vuelve fundamental para el diseño general de prácticas que permitan que estos expresen su potencial genético de forma óptima dentro del ambiente propio de los sistemas de producción bovina (De las Heras-Torres *et al.*, 2008).

La optimización de parámetros productivos y reproductivos han sido la pauta para lograr que la industria de bovinos se mantenga rentable, al acortar y hacer más eficiente la recría, acelerar el crecimiento de las becerras en todas las etapas y así lograr los pesos ideales para tener animales en producción en un tiempo menor al estimado (Valdez-López y Jaimes-Jaimes, 2011).

2.2. Generalidades biológicas de los rumiantes

2.2.1. Fisiología del rumen

Los rumiantes se caracterizan por su alimentación de pastos y forrajes, ya que degradan hidratos de carbono estructurales (celulosa, hemicelulosa y pectina), gracias a su fisiología digestiva, este tiene características de digestión fermentativa por microorganismos en el rumen, a diferencia de especies no rumiantes que es por acción de enzimas digestivas (Gutiérrez-Borroto, 2015).

Es esta capacidad digestiva para la utilización de alimentos celololíticos y hemicelulolíticos que distingue a los rumiantes de los animales monogástricos, se

reconoce además al microbioma ruminal como uno de los ecosistemas más diversos (Newbold y Ramos-Morales, 2020).

Ahora bien, si hablamos de desarrollo ruminal de los becerros tenemos que entender que está más relacionado con la alimentación del animal, que, de la edad, es por eso que debe de considerarse como un factor que ayudara a los animales a tener baja incidencia de enfermedades, mejor ganancia de peso y con ello una producción eficiente (Castro-Flores y Elizondo-Salazar, 2012).

2.2.2. Anatomía del rumen

La nomenclatura científica representada por la Nómina Anatómica Veterinaria, menciona todas las estructuras del sistema digestivo iniciando con la cavidad bucal, el canal alimentario, nombra al estómago y todo aquello que lo conforma, enlistando así al proventrículo, rumen, retículo, omaso, abomaso, surco reticular o *sulcus reticuli*, intestino delgado y grueso, hígado y páncreas (ICVGAN, 2005).

El desarrollo ruminal se ve reflejado en tamaño y función fisiológica según la edad del becerro, se menciona que este inicia desde el día 56 del embrión, posteriormente el peso de cada cámara cambiara con la edad (Cuadro 1), se muestra el porcentaje de cada cámara estomacal con relación al peso total del estómago.

Cuadro 1 Porcentaje de la cámara estomacal en relación al peso (bovinos).

Cámara estomacal	Semana 0	Semana 8	Semana 12-16
Retículo-rumen %	38	61.23	67
Omaso %	13	13.4	18
Abomaso %	49	25.37	15
Total	100	100	100

Fuente: Diao et al. (2019).

El rumen tiene pilares, surcos y pliegues que hacen una división al interior del mismo, (Figura 1), por lo tanto, existen cinco sacos ruminales y cada uno tiene un ambiente variable con comunidades microbianas que están adaptadas a la región biogeográfica dentro de este (Soltis et al., 2023).

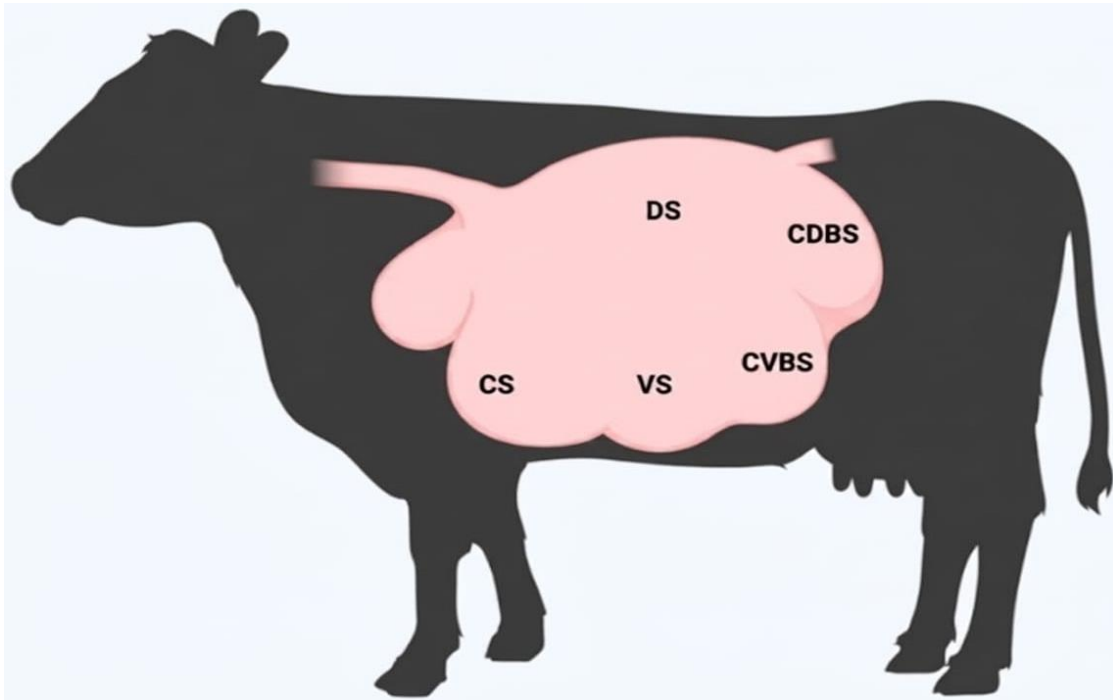


Figura 1 Representación visual de la musculatura que delimita el rumen externamente (surcos). Los surcos ruminales se denominan: saco craneal (SC); saco ciego caudodorsal (CDBS); saco ciego caudoventral (CVBS); saco dorsal (DS); saco ventral (VS) (Tomado de Soltis et al. (2023).

2.2.3. Microbioma ruminal

Wu et al. (2021), menciona que existen poblaciones microbianas simbióticas ruminales y que estas tienen una relación directa con la especie animal y su tipo de dieta. La población microbiana simbiótica ruminal permite a los rumiantes usar el alimento lignocelulósico que de este lo convierten en nitrógeno no proteico, este

microbioma ruminal se conforma por bacterias, protozoos, hongos, arqueas y viroma (Newbold y Ramos-Morales, 2020).

La población de microorganismos más abundantes en el rumen son las bacterias, que la mayor parte son anaerobios estrictos y son clasificados según el sustrato que degraden como la celulosa, hemicelulosa, pectina, almidón, fibra y aminoácidos; mientras que a los protozoarios se les ha atribuido el 62% de la actividad celulolítica, estos se encargan además del equilibrio ruminal, las arqueas son microorganismos que producen metano y refuerzan la actividad de los hongos (Cammack *et al.*, 2018). Los hongos, degradan con enzimas la fibra, carbohidratos y penetran la pared celular de las plantas, por último, los virus usan a las bacterias como huéspedes, modifican al ambiente del microbioma, pero es escasa la información de su función en el rumen (FAO/CGRFA, 2023).

El microbioma ruminal además permite a los becerros poder convertir alimentos en ácidos grasos volátiles, que los animales aprovechan después de su digestión y absorción como una fuente de energía; es entonces que se pueden desarrollar prácticas de manejo que permitan programar el microbioma ruminal y como consecuencia el rendimiento del becerro (Diao *et al.*, 2019).

Se debe de conocer cómo es que el microbioma ruminal utiliza el alimento y da paso a la disponibilidad de nutrientes para el huésped, pues esto es fundamental para conducir mejoras enfocadas en aprovechar el potencial de este y mejorar la eficiencia productiva y con ello también garantizar la seguridad alimentaria (Mott *et al.*, 2022).

Los programas de alimentación dentro de la industria de engorda de ganado bovino son el pilar fundamental, estos se basan en la crianza, pastoreo o acondicionamiento según sea el caso, y posteriormente en el corral de engorde para llegar al sacrificio; pero para que esto sea posible se debe de entender que el ganado es fermentador y trabaja en sinergia con su microbioma para la producción de leche o carne (Soltis *et al.*, 2023).

2.2.4. Relación rumen e inmunidad

El rumen en los becerros cumple tres funciones vitales, la digestibilidad de nutrientes, metabolismo energético y de inmunidad pues el microbiota gastrointestinal tiene una función protectora ante diferentes enfermedades; pero esta puede disminuir ante episodios estresantes, lo que da paso a bacterias oportunistas o altamente patógenas lo que pone en riesgo la salud y vida del becerro (Alawneh *et al.*, 2020).

Existe una relación simbiótica entre los microorganismos ruminales y el huésped, pues por una parte los microorganismos que conforman al rumen se encargan de degradar carbohidratos y nutrientes, mientras que el huésped ha evolucionado la estructura del rumen, al volverla escamosa y estratificada, lo que hace que resista a efectos abrasivos de estos microorganismos, evitando respuestas inflamatorias y de inmunidad que afecten a los microorganismos, pero existen factores que tienen efecto negativo sobre la homeostasis de los microorganismo ruminales y las células inmunitarias del huésped (García *et al.*, 2017).

Se considera al rumen como el órgano digestivo de mayor importancia en los rumiantes, por su fermentación anaeróbica, por el microbioma que hace posible este

proceso, pero también tiene una conexión funcional con la digestión, absorción, metabolismo, regulación neuroendocrina y homeostasis inmunitaria del huésped; se ha demostrado que el microbioma ruminal tiene una relación directa en procesos patológicos metabólicos, hepáticos, inflamatorios en glándula mamaria, útero y laminas del casco (Fu *et al.*, 2022).

2.3. Sistemas de alimentación

La alimentación adecuada del becerro es esencial para cubrir requerimientos nutricionales, además estos nos ayudan en la maduración del tracto gastrointestinal y esto permite la digestión y absorción de nutrientes (Carulla *et al.*, 2023).

Uno de los aspectos más importantes durante el crecimiento del becerro es la nutrición, esta comprende la dieta líquida y la sólida, su importancia recae en el desarrollo correcto del compartimento ruminal sin que esto tenga efectos sobre su comportamiento natural y poder mantener los costos de la empresa, el becerro además de leche, recibe iniciadores, un alimento sólido muy palatable que es rico en concentrados, aunque muchas veces no reciben una fuente de forrajes (Spina *et al.*, 2024).

La nutrición de becerros es uno de los aspectos más descuidados en la explotación lechera, aunque esta está muy relacionado a la eficiencia y rentabilidad del hato, también se ha registrado que en la explotación lechera los becerros son los que presentan la tasa de morbilidad y mortalidad más alta, por ello el interés en la introducción de alimento sólido (iniciador, concentrados y forrajes) en una etapa temprana de la vida del becerro, esto con el fin de estimular el consumo temprano

y además del crecimiento y desarrollo del rumen, buscando con esto asegurar una transición sin problemas al destete (Van Niekerk *et al.*, 2021).

Hammon *et al.* (2020), demostraron que los efectos de programas de alimentación intensificada tienen relación con el desarrollo gastrointestinal y sistémico de los becerros, indicando que el aumento del peso, crecimiento corporal está relacionado a un mayor crecimiento, desarrollo de órganos (intestino delgado, glándula mamaria), estimulación del páncreas y cambios metabólicos, dentro de los cuales se ha mencionado mayor actividad metabólica sistémica del epitelio ruminal y en el tejido adiposo omental.

Las estrategias nutricionales empleadas serán diferentes en cada etapa de la vida del becerro, estas pueden tener o no efectos secundarios y resultados variables a largo plazo, por ello es necesario que se siga con constantes investigaciones de estrategias nutricionales y así determinar cuáles son más óptimas y que ayuden a mejorar el rendimiento y salud de los becerros sin comprometer la rentabilidad (Van Niekerk *et al.*, 2021).

2.3.1. Importancia del suministro de calostro

Este es el primer alimento que los becerros deben de consumir, el cual tiene tres funciones básicas que son la protección del recién nacido ante infecciones pues aporta inmunoglobulinas, también un alto nivel de energía usado para evitar hipotermias y además su contenido de sales de magnesio actúan como laxantes que favorecen el tránsito intestinal y con ello la expulsión del meconio (Casas y Canto, 2015).

Los becerros nacen agammaglobulinémicos y para obtener una transferencia de inmunidad pasiva exitosa desde las primeras horas de vida, dependen del consumo de calostro materno en adecuadas cantidades, volumen y calidad suficiente (Godden *et al.*, 2019). Para poder medir el rendimiento del calostro se toma en cuenta la composición del mismo, en esta se incluye la grasa, proteína, el pH, concentración de inmunoglobulinas (IgG >50 g/l) y los recuentos bacterianos (<100 000 UFC/ml TBC y <10 000 UFC/ml coliformes), igual se puede medir el rendimiento en los becerros, para ello se evalúa concentraciones séricas (IgG >10 g/l), morbilidad de becerros (<10%), mortalidad (<2%) y tener una ganancia diaria promedio (>0.9 kg/ becerro/día) (Denholm, 2022).

2.3.2. Alimentación líquida

En la actualidad existe un gran interés por tener crianzas de becerros centradas en el rendimiento en relación al uso de leche entera o de sustitutos de leche de alta calidad nutricional, se ha reconocido que la ingesta de los nutrientes de los antes mencionados en el predestete mejorará el rendimiento futuro de los animales (Amado *et al.*, 2019).

Hay un interés por alimentar a los becerros con una mayor cantidad de leche o sustituto de leche las primeras semanas de vida, pues esta técnica ayuda al aumentar las tasas de crecimiento y de manera simultánea disminuye signos conductuales de hambre, pero si el becerro tiene una ingesta de grandes cantidades de leche va a reducir el consumo de iniciador y esto predispone una pérdida de peso al destete y se reducen las ventajas de crecimiento de raciones altas en leche, de

modo que se recomienda realizar una técnica de destete gradual (Passillé *et al.*, 2021).

En la cría intensiva de becerros al ser separado el becerro de la vaca, su alimentación con leche es restringida hasta el destete, es común el suministro de leche dos veces al día calculado a partir del 10% de su peso vivo, de tal manera que un becerro de 40 kg recibirá dos raciones de leche al día de 2 kg en cada una (Jasper y Weary, 2002).

Durante la primera etapa de vida del rumiante, la dieta líquida altamente digestible es la que se encarga de hacer al animal un rumiante funcional, hay que recordar que al nacimiento el rumen, retículo y omaso son poco activos fisiológicamente, en esta etapa el abomaso es único que funciona con un sistema digestivo similar al de un no rumiante, pero la transición hace que se puedan digerir forrajes y otros alimentos (Sidney y Huber, 1989).

Para la salud y función biológica de los becerros, se debe de dar una alimentación líquida de buena calidad, concentración y volumen, esto resulta en una nutrición ideal y la frecuencia de esta se relaciona con el estado cognitivo para evitar que sufran de hambre (Carulla *et al.*, 2023).

La crianza de becerros es costosa, por ello se ha impulsado en productores lecheros a maximizar el crecimiento temprano de sus becerros, sobre todo en la etapa de alimentación líquida con el mejoramiento de ésta, pero aún es desconocido el efecto a largo plazo que tiene este método de crecimiento (Eetvelde y Opsómero, 2017).

2.3.3. Alimentación sólida

La alimentación sólida juega un papel muy importante en el programa nutricional de la crianza de becerros, pues una mejor ingesta de alimento sólido ayuda a aumentar la ganancia diaria de peso antes del destete (Gelsinger *et al.*, 2016).

Aunque es insignificante la ingesta de concentrado de inicio las primeras 3 semanas de vida y este no depende de la cantidad de leche consumida, después de este periodo el consumo de concentrado aumenta permitiendo así un crecimiento compensatorio, lo cual se proyecta en el animal con requerimientos de mantenimiento y ganancia de peso base en la primera etapa de vida (Lorenz, 2021).

La alimentación con alimento concentrado rico en carbohidratos fácilmente fermentables es una estrategia muy común para estimular el desarrollo del epitelio ruminal y su microbiota, pero se debe de considerar que estas dietas pueden conducir a tener un pH ruminal bajo, lo cual trae complicaciones negativas como el cambio indeseado de la población microbiana, la digestión ineficiente del alimento y enfermedades de metabólicas que afecten el rendimiento de los becerros (Spina *et al.*, 2024). Mientras que el estímulo para el desarrollo y crecimiento ruminal esta relacionado a los ácidos grasos volátiles, sobre todo al butirato; además es esencial la participación de secreciones enzimáticas del páncreas, como lo es la amilasa pues esta ayuda en la digestión del almidón, es entonces que esta sinergia de desarrollo ruminal, flujo y actividad enzimática permitirá una mejor digestión del concentrado, resultando en mejor crecimiento y conformación de los becerros (Vargas-Ramírez y Elizondo-Salazar, 2014).

Uno de los factores más importantes para que el becerro joven tenga una digestión y metabolismo prerruminal que le permita tener un buen desarrollo como rumiante adulto, es el consumo de alimento sólido en una etapa temprana, que le ayude a estimular el desarrollo del rumen y retículo (Stamey *et al.*, 2012). Lo que permitirá que el animal tenga una buena ingesta de concentrado al destete, ya que este depende de la capacidad, la rapidez y facilidad que tenga para fermentar alimentos que sean ingeridos (Quigley *et al.*, 1985).

Se debe considerar que la calidad, cantidad y la forma física de la dieta son los factores que van a determinar el desarrollo y aunado a esto el comportamiento del aparato digestivo, un becerro comienza a rumiar entre la segunda y tercera semana de edad, pasando así por el periodo de transición de lactante a rumiante de acuerdo a los estímulos que este reciba y el impacto de los factores (Pared *et al.*, 2017).

2.3.4. Uso de forrajes en dietas y su efecto sobre la ganancia de peso

El consumo de forraje, como heno, ensilado y ración totalmente mezcladas, se considera un potenciador del comportamiento en becerros, por ello, si se añade una dieta variada, esta puede estimular a los becerros además de que se ha demostrado que tienen preferencia por estas dietas (Goeller *et al.*, 2023).

La inclusión de forrajes en dieta hace que el consumo de materia seca disminuya, con ello existe menos producción de betahidroxibutirato, haciendo que el desarrollo ruminal se retrase; pero por otro lado, la ingesta del forraje estimula el músculo del rumen y la rumia, además el aumento del consumo de materia seca del alimento iniciador con la inclusión de forrajes a un 15% de la dieta y un tamaño de partícula de 8-19 mm, promueve la ganancia diaria promedio y eficiencia alimenticia (Iqbal *et*

al., 2019). Se debe de considerar que el tamaño no afecta de forma considerable el desarrollo ruminal ni el tamaño de los órganos; pero si puede mejorar la ingesta general y el crecimiento cuando se administra de forma granulada (Kertz, 2007).

Diversos estudios han realizado comparaciones entre la ingesta y rendimiento de becerros a los que se les ofrecieron diferentes forrajes, donde se demostró que el heno de alfalfa que se consume en mayores cantidades no tiene tantos beneficios en la ganancia diaria de peso, pero un consumo de 5% de ración total con paja picada tendrá efecto en el aumento de la ganancia diaria de peso (Castells *et al.*, 2012).

2.3.5. El agua como factor para el desarrollo del becerro

El agua ayuda a mejorar el crecimiento y desarrollo ruminal y los de becerros pre y post destete, permitiendo así tener una mayor cantidad de nutrientes para su crecimiento, por ello el suministro de agua debe de ser inmediatamente después del nacimiento (Wickramasinghe *et al.*, 2018).

La ingesta de agua tiene una relación directa con la edad, si consume leche de vaca o sustituto de leche, el tipo de alimentación, la temperatura del ambiente, también sus necesidades hídricas, ya que el recambio de agua corporal es rápido en jóvenes por lo que un animal adulto puede estar más tiempo sin agua; por otro lado, las pérdidas de esta son por la orina, heces, respiración, en la evaporación pulmonar y glándulas sudoríparas de la piel (Jensen y Vestergaard, 2021). El consumo de agua es elevado, se necesita cuatro veces más que el consumo de materia seca, es decir hay una relación de 4:1 y la ingesta de líquido recomendada es del 8 al 10% del peso corporal (Hand *et al.*, 1995).

Recomendaciones del suministro de agua es que se tenga una separación física entre el contenedor de agua y el alimento, pues los becerros suelen gotear agua en el alimento haciendo que este se humedezca o contaminar el agua con residuos de alimento, cuando el becerro se encuentra bajo estas condiciones, disminuye el consumo de ambos (Kertz *et al.*, 1984).

La NRC (2021), menciona que el agua es un nutriente esencial para el animal solo después del oxígeno, pues este posee propiedades fisicoquímicas que sustentan a la vida; en becerros se ha observado que la ingesta es de 0.75 a 1 litro al día en el destete, aumentando a una relación de 4:1 el consumo de agua libre y base seca.

Cuadro 2 Parámetros de calidad del agua para ganado bovino

Parámetros de calidad del agua		
Sólidos disueltos totales	<1,000 (mg/L)	NA
Dureza (mg/L)	0-60	Blanda
	61-120	Moderadamente dura
	121-180	Muy dura
pH	6.5-8.5	NA
Microbiológico (CF/L)	1,000	NA

Fuente: NRC (2021).

2.3.6. Estrategias de manejo en el destete

Es un tema de interés como y cuando realizar el destete en sistemas de producción de leche intensificada, pues el suministro de mayores cantidades de leche o sustituto de leche retrasaran el consumo de concentrado, es por esta razón que se realiza a las 8 semanas en lugar de a las 6, además tener una reducción gradual de

consumo de leche es una estrategia que ha ayudado a evitar las caídas de crecimiento relacionadas al destete (Eckert *et al.*, 2015).

El contacto vaca becerro, tiene efectos positivos sobre el crecimiento acelerado del becerro y la salud de la vaca, pero los efectos negativos y de estrés por separación postdestete son más marcados (Eriksson *et al.*, 2022).

Se debe de programar una transición suave, pues existen cambios conductuales, de ingesta y fisiológicos que ocurren durante esta etapa de destete, por ello para poder adaptarse a una mayor ingesta de materia seca, es necesario la programación de un buen sistema de alimentación que permita la transición de dieta líquida a sólida de forma exitosa (Overvest *et al.*, 2018).

Se ha propuesto implementar sistemas de destete graduales, es decir que sea un proceso más similar al destete natural y que además de ello los becerros consuman cantidades suficientes de alimento sólido; es importante hacer un buen manejo antes y después de este proceso, ya que este al ser un evento de mucho estrés para el animal puede tener efectos negativos sobre el mismo, como: el bajo consumo de alimento sólido, crecimiento, desarrollo y en el comportamiento del animal aumentando su actividad y vocalizaciones (Parsons *et al.*, 2020).

2.3.7. Comportamiento no nutricional de los becerros

La succión es un comportamiento natural del becerro con la madre, ahora bien, contextualizándonos en los sistemas de crianza artificial la cantidad de leche que recibe el animal es restringida por lo que el animal suele terminar su ración en 1 minuto, posterior a esto el reflejo de succión queda, dando paso a lo que es conocido

como la succión cruzada y la succión de su entrono (Elsayed-Mahmound *et al.*, 2016).

Se ha demostrado que durante el destete los becerros de manera frecuente presentan comportamientos estereotípicos, ejemplo de ello es la succión excesiva de sustancias no nutritivas como partes del cuerpo de otros animales, el equipo y partes del establo, nombrándose como succión cruzada, aunque si es común, pero cuando esta persiste en animales viejos pueden presentarse problemas de salud y manejo (Wang *et al.*, 2022).

Por eso es que en los esquemas de crianza de la becerra recién nacida hay un control sanitario, uno de los objetivos es evitar la succión excesiva para poder mejorar el control con comportamientos nutricionales (Flower y Weary, 2001).

2.4. Periodo de transición

Existen tres momentos cruciales en la vida del becerro, iniciando desde el parto, primer día de vida y la fase de transición de lactancia a la alimentación con alimento sólido, es importante reducir factores estresantes que se relacionen a la salud para mejorar el rendimiento en futuras etapas de la vida del becerro (Grothe y Thornsberry, 2022).

Un becerro que está en desarrollo debe de tener la capacidad de afrontar tres momentos de adaptación importantes para el desarrollo digestivo y fisiológicos, estas etapas son: la de prerumiante (el becerro no consume sólidos, esto durante las dos o tres primeras semanas de vida), seguido de esto está la fase de transición

(cuando el becerro inicia el consumo de alimentos sólidos) y por último la fase de rumiante que dura el resto de la vida del becerro (Pérez *et al.*, 2023).

A medida que los becerros van creciendo, consumen más alimento y esto da inicio a la fermentación ruminal, que también conlleva al desarrollo tanto físico como metabólico del rumen (Mirzaei-Alamonti *et al.*, 2025). Es por eso que pre y post destete sea frecuente que los becerros sean alimentados con dietas formuladas altas en concentrados que aporten suficientes carbohidratos fermentables, esto ayuda a la producción de ácidos grasos volátiles que son los que permiten el desarrollo ruminal y su capacidad de absorción (Quigley, 2023).

Con la iniciación del consumo de alimento sólido se adquieren microorganismos anaeróbicos dando paso a la fermentación ruminal, se expande el rumen en volumen, hay diferenciación y crecimiento de las papilas ruminales; este desarrollo en vías metabólicas y de absorción es lo que da paso a la conducta de rumia para que el becerro pase de una dieta líquida a sólida (Guilloteau *et al.*, 2009). Ahora bien, se ha propuesto tener sistemas de alimentación en los que se incluya al pellet concentrado y añadir heno o paja picada, esto ha demostrado tener resultados sobre la ingesta de concentrado y en el aumento del pH ruminal (Terré *et al.*, 2016).

2.5. Probióticos y prebióticos

La FAO/OMS (2001), han dado un significado para la palabra probiótico que es “a favor de la vida”, empleado para hablar de bacterias que tienen un efecto beneficioso para el huésped, se deben de considerar que estos son microorganismos vivos que deben de ser proporcionados a una dosis adecuada para poder obtener los efectos deseados.

La biología sintética ha tomado fuerza desde finales del siglo XX, esto ha sido posible gracias a las técnicas de biología molecular y su aprovechamiento en macroorganismos modificados genéticamente, dentro de los cuales podemos mencionar los bacteriófagos, bacterias y levaduras, logrando así una fermentación ideal según sea su uso y producir componentes biológicos, químicos y materiales (Kennedy *et al.*, 2025).

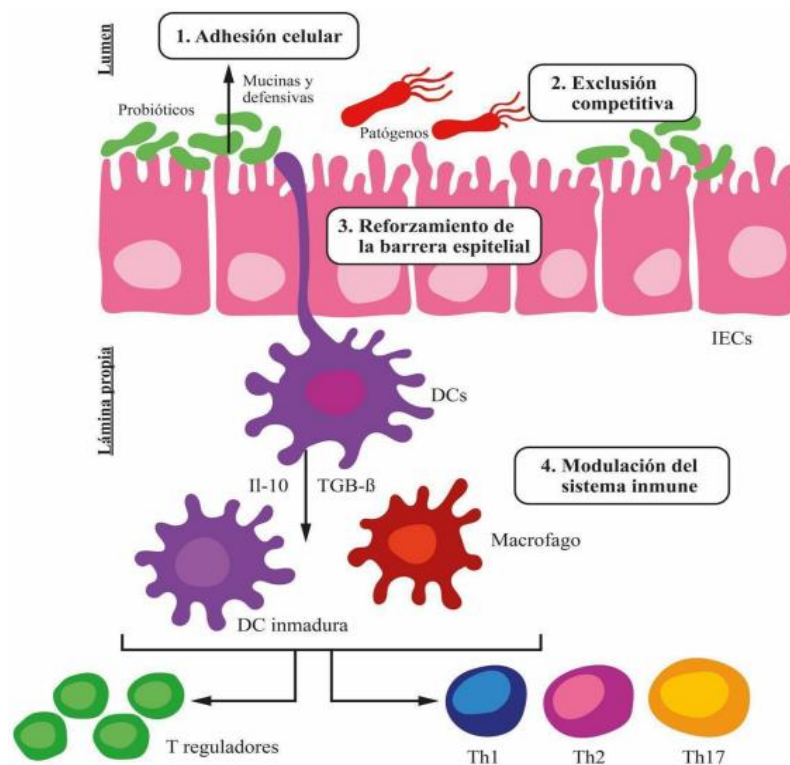


Figura 2 Mecanismo de acción de los probióticos y su interacción con la microbiota. Fuente: Camacho-Cruz *et al.* (2022).

El manejo de la flora microbiana del tracto digestivo con probióticos ha demostrado que tiene una mejora sobre la microflora protectora y esto tiene resultados positivos sobre la salud y el rendimiento de los becerros (Velásquez-Muñoz *et al.*, 2022).

Se ha propuesto el uso de prebióticos pues estos tienen efectos sobre la actividad de microflora intestinal y como consecuencia mejoran la función intestinal, absorción de nutrientes y la inmunidad (Arne y Ilgaza, 2021). Se ha demostrado que los probióticos son microorganismos viables y beneficiosos que ayudan a mantener el equilibrio microbiano gastrointestinal y promueven el desarrollo del rumen (Diao *et al.*, 2019).

La FAO/OMS (2001), invita a la investigación de bacterias probióticas a fondo y con cuidado, ya que la relación de los microbios intestinales con el estado de vida y fuerza del organismo ha sido poco investigada de forma sistémica.

2.6. Becerros

2.6.1. Crecimiento y desarrollo

Los sistemas de alimentación y de manejo para los becerros en crianza y desarrollo no son considerados como un tema de importancia por los productores, por ello las tasas de crecimiento se ven afectadas y con ello el desempeño productivo (Castro-Flores y Elizondo-Salazar, 2012).

El aumento de la masa tisular es definido como crecimiento, este tiene dos tipos de crecimiento, hiperplasia durante las primeras etapas de vida y durante toda la vida el tejido adiposo, e hipertrofia en las posteriores; ahora bien, para entender la curva de crecimiento debemos de considerar la masa o peso acumulado en relación a la edad, siendo esta una curva acelerada en fase prepuberal y desacelerada en la fase postpuberal (Owens *et al.*, 1993).

Se debe de considerar que un becerro joven necesita tener una tasa de crecimiento optimo, para esto es necesario establecer requerimientos nutricionales y tener buenas prácticas de alimentación, en los sistemas de alimentación convencional esta es a base de leche o sustituto de leche que es usado como un estímulo para consumo inicial, este contiene un 20 a 22% de proteína cruda y el consumo es del 8 al 10% del peso corporal (Bartlett *et al.*, 2024).

En un sistema de producción, una opción para poder agregar valor al becerro destetado es con un sistema de engorda en corral, pues este permite que en un periodo corto de tiempo exista un engorde acelerado, mejor calidad de canal y de carne (Desdémona-Martínez, 2023).

La etapa de crianza ha sido considerada como improductiva, teniendo inicio en el parto y considerándose rentable hasta el primer parto de la novilla o cuando el animal alcance suficientes kilos para venta, es por eso que la atención a esta etapa es escasa, de poco recurso económico y de trabajo, pero esto tendrá efectos negativos a largo plazo en eficiencia y productividad (Ybalmea, 2015).

2.6.2. Bienestar animal en sistemas de crianza artificial

La OIRSA (2016), definió al bienestar animal como la manera en que el animal vive en su entorno; este debe de gozar de una buena alimentación, comodidad, salud, manejo, espacio para el desarrollo de su comportamiento y no debe de sentir sensaciones desagradables, se deben prevenir enfermedades, si es el caso el tratamiento debe de ser el adecuado y el sacrificio de manera compasiva, es entonces que se entiende a este concepto como al estado del animal, sus cuidados de crianza y el trato compasivo.

El consejo de Bienestar de los animales de granja del Reino Unido, reconoce 5 libertades (OIE, 2024).

- Libertad de no tener hambre, sed y desnutrición
- Libertad de temor y estrés físico ni térmico
- Libre de dolor, lesión y enfermedad
- Libertad de expresar un comportamiento natural
- Libertad de no padecer miedo ni angustia

Por ejemplo, si hablamos de estrés físico o térmico, debemos de tener en cuenta que el rango de temperatura termoneutral estimada para becerros es de 15° a 25°C, la temperatura critica inferior es de 15°C que es el rango de estrés por frio, aunque esta disminuye con el aumento del peso corporal y edad, logrando así una aproximación a los 5°C para becerros de más de 3 semanas de edad hasta el destete (Larson, 2022).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

El estudio se realizó de enero de 2025 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" W, a una altitud de 1,120 m (Figura 3). Durante el periodo experimental, la región presentó una temperatura media de 21.7 °C, con una media de mínimas de 14.4 °C y de máximas de 30.0 °C), y una humedad relativa media de 32 %.



Figura 3 Mapa de la unidad experimental.

3.2. Diseño experimental

El estudio se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA) con un total de 6 becerros machos de raza Holstein Friesian, estos fueron asignados aleatoriamente a dos tratamientos con tres animales por grupo. Durante la etapa de pre-destete (55 días), el G-CON: grupo control, mientras que el G-ROW: grupo suplementado, recibió 10 g diarios de un compuesto probiótico-prebiótico en el sustituto lácteo,

administrados por la mañana junto con el sustituto de leche para garantizar la ingesta completa.

En la etapa de post-destete, los mismos grupos (G-CON y G-ROW) fueron comparados, evaluando todas las variables productivas y de crecimiento, con el objetivo de determinar si el suplemento ofrecido únicamente durante el pre-destete genera un efecto residual en el desempeño de los becerros.

3.3. Manejo general

Durante el pre-destete (55 días), a los animales se les suministro 6 litros diarios de sustituto de leche con una cantidad de sólidos de 14% durante 30 días, y posteriormente la cantidad fue menor quedando en 3 litros diarios durante 25 días. Adicionalmente, se ofreció concentrado iniciador (Cuadro 3) *ad libitum* a partir del tercer día de vida, ajustándose de acuerdo con el consumo individual y como fuente de forraje se suministró heno de alfalfa (Cuadro 4) ajustada al consumo del becerro. También tuvieron agua potable a libre acceso en cubetas individuales, renovada dos veces al día (mañana y tarde). En el post-destete, ambos grupos permanecieron con alimento sólido y agua potable a libre acceso, esta se renovó dos veces al día, con el fin de mantener condiciones homogéneas para la comparación de variables.

Cuadro 3 Análisis químico nutricional del concentrado iniciador.

Concentrado	
MS (%)	94.26
PC	18.76
CEN	7.38
FC	9.38
FDA	13.11
FDN	24.55
CNF	45.63
EE	3.67

MS (%) = Porcentaje de materia seca o calculado en materia seca; PC = Proteína cruda, CEN = Cenizas; FC = Fibra cruda; FDA = Fibra detergente ácida; FDN = Fibra detergente neutra; CNF = Carbohidratos no fibrosos; EE = Grasa bruta extraída con éter.

Cuadro 4 Análisis químico nutricional del heno de alfalfa.

Heno de alfalfa	
MS (%)	94.65
PC	15.13
CEN	8.08
FDA	36.42
FDN	49.93
CNF	26.10
EE	1.68

MS (%) = Porcentaje de materia seca o calculado en materia seca; PC = Proteína cruda, CEN = Cenizas; FDA = Fibra detergente ácida; FDN = Fibra detergente neutra; CNF = Carbohidratos no fibrosos; EE = Grasa bruta extraída con éter.

Los becerros fueron alojados en corrales metálicos individuales, previamente lavados y desinfectados. Durante todo el estudio, los corrales se desinfectaron diariamente mediante aspersión con un desinfectante comercial (AnimalCare®) y de forma rutinaria fue retirado el material orgánico acumulado.

3.4. Variables

Las variables evaluadas durante el periodo de post-destete fueron, el consumo de alimento sólido, el consumo de agua, el peso corporal, el crecimiento morfométrico y la ganancia diaria de peso (GDP). El consumo de alimento sólido fue determinado diariamente por diferencia entre la cantidad ofrecida y el remanente, pesando este último en una báscula electrónica digital (L-EQ 5, Torrey®). El consumo de agua fue cuantificado diariamente mediante la diferencia entre el volumen ofrecido y el remanente en cubetas individuales, renovándose el agua dos veces al día. Se mantuvo un registro semanal del peso corporal antes del suministro de alimento

utilizando una báscula ganadera (Fabela®). El crecimiento morfométrico fue medido semanalmente con una cinta métrica flexible (Uline Accu-Lock-1766), registrando altura a la cruz (cm), altura a la cadera (cm), circunferencia torácica (cm), circunferencia abdominal (cm), largo corporal (cm) y condición corporal (puntos), manteniendo al animal de pie sobre una superficie nivelada, con las extremidades bien apoyadas y la cabeza ligeramente erguida. Finalmente, la ganancia diaria promedio (GDP) fue calculada dividiendo la ganancia de peso obtenida en cada semana entre el número de días del periodo, expresándose en kilogramos por día.

3.5. Análisis estadístico

Los datos de consumo de agua, consumo de alimento iniciador y ganancia de peso se analizaron mediante modelos lineales mixtos, con el fin de considerar las mediciones repetidas en el tiempo realizadas dentro de cada becerro. Los modelos incluyeron el tratamiento (G-CON y G-ROW), el tiempo y su interacción tratamiento $\times$ tiempo como efectos fijos. Para todas las variables evaluadas, el tiempo se consideró como semana de evaluación. Cada becerro se incluyó como efecto aleatorio para considerar la variabilidad individual entre animales.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + W_j + (T \times W)_{ij} + C_k + \varepsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} corresponde a la variable de respuesta (consumo de agua, consumo de alimento iniciador o ganancia de peso), μ es la media general, T_i es el efecto fijo del tratamiento (G-CON y G-ROW), W_j es el efecto fijo del tiempo (semana), $(T \times W)_{ij}$

es la interacción tratamiento $\times$ tiempo, C_k es el efecto aleatorio del becerro y ε_{ijk} es el error residual.

Los modelos se ajustaron mediante el método de máxima verosimilitud restringida (REML). Se obtuvieron medias marginales estimadas para el efecto de tratamiento y para la interacción tratamiento $\times$ tiempo, y las comparaciones por pares se realizaron utilizando el ajuste de Bonferroni. La significancia estadística se declaró cuando $P < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS (versión 25; IBM Corp., Armonk, NY, EUA).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Consumo de alimento iniciador

El consumo de alimento iniciador aumentó progresivamente a lo largo de las semanas en ambos tratamientos (Figura 4). No se detectó un efecto significativo del tratamiento sobre el consumo ($P = 0.873$), ni de la interacción tratamiento $\times$ semana ($P = 0.085$). Sin embargo, se observó un efecto significativo de la semana ($P < 0.001$), indicando que el consumo se incrementó conforme avanzó el periodo experimental.

Durante la semana 1, el grupo G-CON presentó un consumo promedio de 8.37 ± 2.83 kg, mientras que G-ROW registró 9.52 ± 2.45 kg. En la semana 2, los valores aumentaron a 13.18 ± 1.92 kg en G-CON y 13.48 ± 1.85 kg en G-ROW. Para la semana 3, el consumo continuó incrementándose, alcanzando 16.06 ± 1.54 kg en G-CON y 16.61 ± 2.90 kg en G-ROW. En la semana 4 se observaron 17.80 ± 0.45 kg y 19.99 ± 3.78 kg en G-CON y G-ROW, respectivamente.

Entre las semanas 5 y 6, el consumo mantuvo una tendencia ascendente, con valores de 18.44 ± 1.59 y 20.54 ± 1.14 kg en G-CON, y de 22.56 ± 2.00 y 23.42 ± 1.87 kg en G-ROW. En la semana 7, G-CON mostró una ligera disminución (17.66 ± 5.41 kg), mientras que G-ROW continuó aumentando (25.58 ± 0.33 kg). Posteriormente, en las semanas 8 y 9, el consumo fue de 19.02 ± 3.16 y 18.25 ± 3.70 kg en G-CON, frente a 26.47 ± 2.02 y 25.34 ± 3.54 kg en G-ROW.

Durante las últimas semanas del periodo experimental se registraron los valores más altos. En la semana 10, el consumo fue de 20.27 ± 2.97 kg en G-CON y 28.41 ± 0.98 kg en G-ROW. En la semana 11 alcanzó 26.54 ± 2.88 kg y 29.75 ± 5.11 kg,

respectivamente. Finalmente, en la semana 12, G-CON presentó 23.32 ± 9.72 kg, mientras que G-ROW registró 29.40 ± 6.94 kg.

En términos generales, aunque G-ROW mostró valores numéricamente superiores en la mayoría de las semanas, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, siendo el efecto del tiempo el principal factor asociado al incremento del consumo de alimento iniciador durante el periodo experimental.

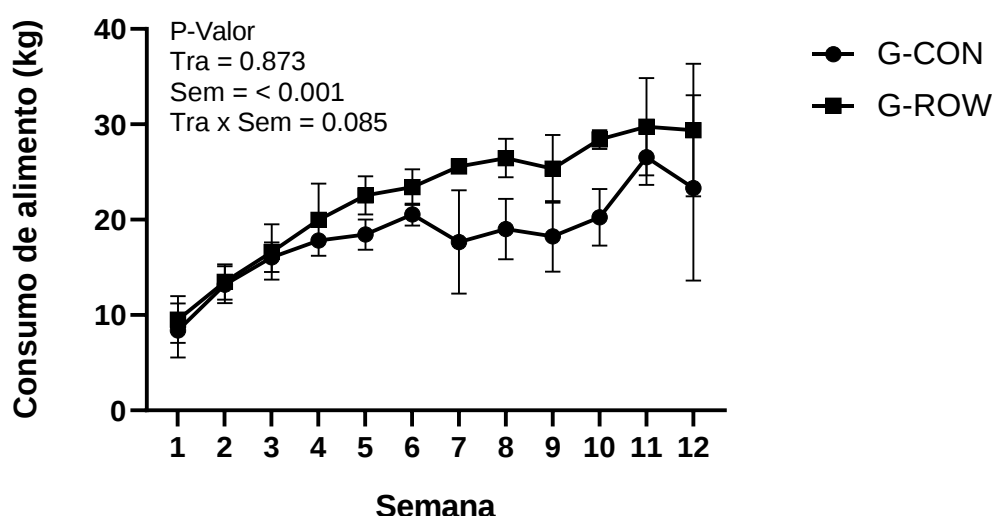


Figura 4 Consumo semanal de alimento iniciador (kg) en becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-ROW durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias $\pm$ error estándar de la media. Tra = efecto de tratamiento; Sem = efecto de la semana; Tra $\times$ Sem = interacción tratamiento $\times$ semana. Diferencias estadísticas se consideraron significativas cuando $P < 0.05$.

Para el día 60, el consumo en el grupo G-CON fue de 1.13 ± 0.38 kg de MS al día por animal, mientras que el grupo G-ROW tuvo 1.28 ± 0.33 kilos de materia seca diaria, para el día 82 el consumo de materia seca fue de 2.40 ± 0.06 kg y 2.69 ± 0.51 kg para el grupo G-CON y G-ROW respectivamente. En otro experimento becerras alimentadas en su etapa de lactancia con 4 litros de leche al día, tuvieron un consumo de alimento iniciador para el día 54 de vida de 1.01 ± 0.318 kg de

materia seca al día, con un aumento constante, el registro fue hasta el día 81 con 1.74 ± 0 kg de materia seca al día (Vargas-Ramírez y Elizondo-Salazar, 2014).

Por otro lado, becerros de 61 a 82 días de vida tuvieron un consumo de 2.405 kg de materia seca al día Tian et al. (2026), mientras que en este estudio los becerros del grupo G-CON tuvieron un consumo promedio durante este periodo de 1.99 ± 0.22 kg de materia seca al día, por otro lado, el grupo G-ROW tuvo un consumo promedio de 2.21 ± 0.35 kg de materia seca al día.

Para el día 103, los becerros demostraron un consumo promedio de 2.38 ± 0.73 kg de materia seca al día por animal del grupo G-CON y 3.44 ± 0.04 kg de materia seca al día por animal del grupo G-ROW, indicando así que el consumo promedio de los animales para el primer grupo está por debajo de lo esperado, mientras que el grupo G-ROW estuvo ligeramente bajo si tomamos como referencia lo que dice la NRC (2021), ya que para satisfacer los requerimientos nutricionales en el ganado Holstein, específicamente en becerros de 100 días de vida se debe de tener un consumo de 3.9 kg de materia seca al día.

Es cierto que el consumo de materia seca de los becerros de este experimento no cumple con el estándar en la NRC (2021), pero está dentro del rango comparándolo con otros experimentos, es importante considerar que el ambiente y manejo de los animales influye en el desarrollo óptimo de los becerros. Aun cuando no existe diferencia significativa entre tratamientos y tratamiento por semana, si existió diferencia altamente significativa entre semanas, esto es un comportamiento esperado por el desarrollo del animal y el aumento en sus requerimientos nutricionales. Por ello los sistemas de alimentación, que permitan cubrir las

necesidades nutricionales son de suma importancia ya que estos tendrán impacto positivo sobre el crecimiento, la reducción de problemas de salud, el desarrollo y funcionamiento del retículo-rumen, por otro lado el consumo de alimento toma ventaja en el establecimiento, la actividad de microorganismos y desarrollo del epitelio ruminal y se asocia a la producción de ácidos grasos volátiles, en específico del butirato y propionato (Castillo-Olivera *et al.*, 2018).

Un indicador de una buena transición de pre-rumiante a rumiante es que el animal tenga un buen consumo de alimento sólido y un buen crecimiento morfométrico. Debemos de entender también que este se da gracias a diversos factores como el alimento sólido que junto a la microbiota realiza una fermentación ruminal dando paso a los AGV que estimulan el crecimiento y desarrollo del rumen en sinergia con hormonas como la insulina, el factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1) y genes (Pokhrel y Jiang, 2024).

4.2. Consumo total de agua

El consumo total de agua durante el periodo experimental fue mayor en el tratamiento G-ROW en comparación con G-CON (Figura 5). Se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$). El grupo G-CON presentó un consumo total promedio de 67.91 ± 8.08 L, mientras que el grupo G-ROW registró 89.62 ± 8.08 L.

Estos resultados indican que, aunque en el análisis semanal no siempre se detectaron diferencias consistentes entre tratamientos, el efecto acumulado a lo largo del periodo experimental favoreció un mayor consumo total de agua en los animales del tratamiento G-ROW.

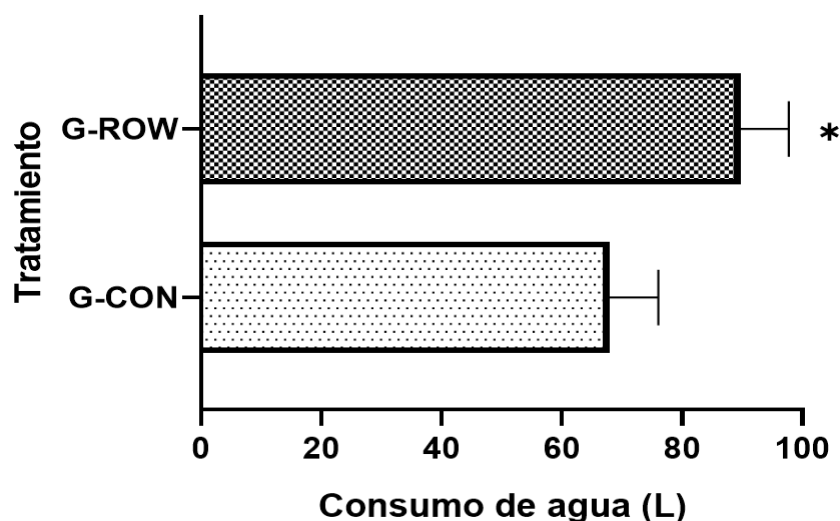


Figura 5 Consumo total de agua (L) en becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-ROW durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias $\pm$ error estándar de la media (SEM). * = indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$).

Durante los días 62 al 73 de vida el consumo de agua de los becerros fue de 4.68 ± 0.79 litros al día y de 5.66 ± 1.27 litros al día para el grupo G-CON y G-ROW respectivamente, mientras que becerros del experimento de Senevirathne et al. (2018), en la etapa postdestete que comprendido del día 42 al día 70, tuvieron un consumo promedio de 6.58 litros de agua al día y por ultimo otros becerros de 50 a 70 días de edad, tuvieron un consumo de 5.48 litros de agua al día (Wickramasinghe et al., 2018). Con estos datos, podemos darnos cuenta de que el consumo de agua en este experimento es poco bajo, pero aun es bueno.

Al día 61 de vida el consumo de agua para el grupo G-CON fue de 3.73 ± 1.27 litros al día, mientras que el grupo G-ROW tuvo 4.57 ± 1.19 litros al día, para el día 82 de vida el consumo fue de 7.48 ± 0.70 litros al día y 9.10 ± 0.95 litros al día para el grupo G-CON y G-ROW respectivamente, mientras que en otro experimento becerros de 60 días de edad con agua a libre acceso, tuvieron un consumo

promedio de 6 litros al día, para el día 80 el consumo fue de 13.5 litros al día aproximadamente Parsons et al. (2021). Con ello, nos damos cuenta que al día 61, el grupo G-ROW se acerca más a los becerros del experimento de Parsons et al. (2021), pero para el día 82 ningún grupo está cerca del consumo de los animales del experimento mencionado.

Es importante considerar que, durante este periodo, el lugar de estudio tuvo una temperatura promedio de 16.0 °C, mínima de 5.9 °C y máxima de 25.8 °C, y por las mañanas llegando a una temperatura promedio de 6.5 °C, es decir, los becerros estuvieron sometidos a un estrés térmico por frío, por lo cual es entendible el bajo consumo de agua. Pero no por esto se debe de dejar de darle importancia, pues este tiene una participación en procesos fisiológicos, como medio de transporte, en el control térmico del animal, en procesos metabólicos del organismo como el desarrollo ruminal y en la fermentación ruminal (Monge-Rojas y Elizondo-Salazar, 2016). También la ingesta de agua esta relacionado al consumo de materia seca (Kertz *et al.*, 1984), por lo que se debe de entender la relación entre el consumo de estos dos elementos y su relación con el desarrollo ruminal.

Wickramasinghe et al. (2020), demostró que aquellos becerros a los que se les ofreció agua potable a libre acceso desde el nacimiento tuvieron mejor peso corporal y eficiencia alimentaria, esto relacionado a el establecimiento y colonización temprana de bacterias que se podrían encontrar en el agua. Esta variable demostró tener diferencia estadística altamente significativa entre semanas, lo que se podría relacionar al consumo temprano de materia seca, agua y probióticos, que permitieron un buen desarrollo anatómico y fisiológico ruminal.

4.3. Ganancia de peso y GDP

La ganancia de peso acumulada aumentó progresivamente con la edad en ambos tratamientos (Figura 6-A). No se detectó un efecto del tratamiento sobre la ganancia de peso ($P > 0.05$), ni una interacción tratamiento $\times$ tiempo ($P > 0.05$). Sin embargo, se observó un efecto significativo de la semana ($P < 0.001$), indicando un incremento sostenido del peso corporal a lo largo del periodo experimental.

En la semana 1, los becerros del grupo G-CON registraron un peso promedio de 59.67 ± 4.04 kg, mientras que el grupo G-ROW presentó 61.00 ± 5.57 kg. En la semana 2, los valores fueron 63.67 ± 6.66 kg en G-CON y 66.33 ± 7.64 kg en G-ROW. Para la semana 3, se observaron 71.33 ± 6.43 kg y 75.00 ± 9.54 kg en G-CON y G-ROW, respectivamente. Esta tendencia ascendente continuó durante todo el periodo experimental.

En la semana 6, los pesos alcanzaron 96.33 ± 7.02 kg en G-CON y 99.00 ± 8.66 kg en G-ROW. En la semana 9, los valores fueron 115.00 ± 8.89 kg para G-CON y 129.00 ± 12.17 kg para G-ROW. Finalmente, en la semana 12, los animales del grupo G-CON registraron 140.33 ± 6.66 kg, mientras que el grupo G-ROW alcanzó 156.33 ± 12.42 kg.

Aunque el grupo G-ROW presentó valores numéricamente superiores durante la mayor parte del periodo experimental, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, y el principal factor asociado al incremento del peso corporal fue el avance de la edad.

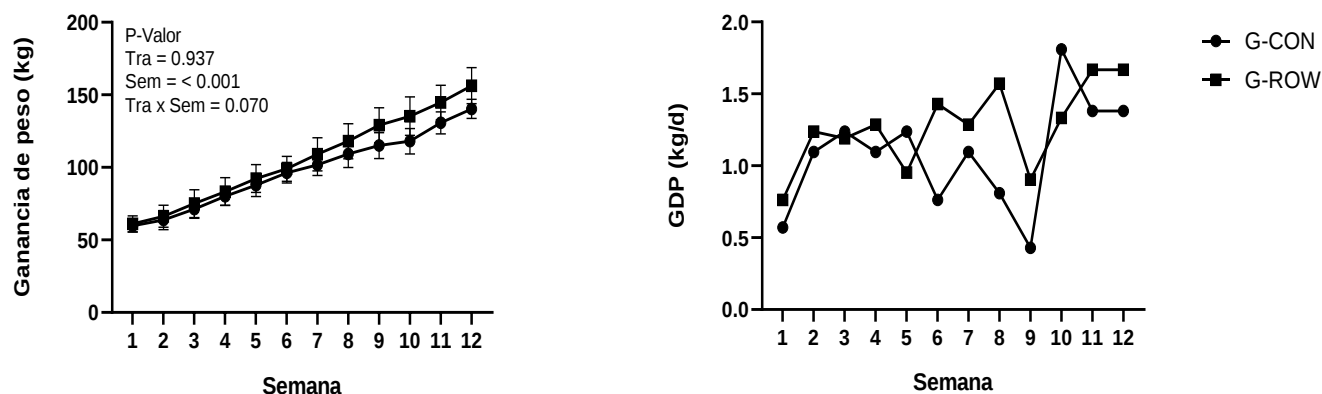


Figura 6 Ganancia de peso (kg) y ganancia diaria promedio (GDP) en becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-ROW durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias $\pm$ error estándar de la media (SEM). Diferencias estadísticas se consideraron significativas cuando $P < 0.05$.

En este experimento, los becerros iniciaron con un peso de 59.67 ± 4.04 kg y de 61.00 ± 5.57 kg, para el grupo G-CON y G-ROW respectivamente, para el día 82, 89, 96, 103 los pesos registrados fueron de 80.0 ± 6.08 , 87.67 ± 7.77 , 96.33 ± 7.02 y 101.67 ± 7.23 kg respectivamente para el grupo G-CON, el grupo G-ROW para estos mismos días de vida los pesos fueron de 83.33 ± 9.61 , 99.00 ± 8.66 y 109.00 ± 11.36 kg, mientras que becerros alimentados con raciones de leche variables, que durante el día 54 tuvieron un peso promedio de 83.7 kg, mientras que para los días 79, 90, 97, 107 el peso fue de 113.3, 127.2, 135, 146.4 respectivamente (Passillé *et al.*, 2011).

A los 61 días y en destete, los becerros del grupo G-CON tuvieron un peso de 59.67 ± 4.04 kg, mientras que el grupo G-ROW tuvo un peso de 61.00 ± 5.57 kg, en otro experimento, becerros demostraron tener un peso al destete de 63.8 a 68.4 kg (González-Avalos *et al.*, 2022).

Por otro lado, al día 75 el peso alcanzado fue de 71.33 ± 6.43 y 75.00 ± 9.54 kg en G-CON y G-ROW respectivamente; mientras que en el estudio de Abdelfattah et al. (2023) las becerras Holstein-Friesian, que tuvieron un destete gradual, obtuvieron un peso de 79.7 ± 1.9 kg al día 70 ± 1 de vida.

Para el día 96 los becerros alcanzaron un peso de 96.33 ± 7.02 kg con una ganancia diaria promedio de 0.76 kg para el grupo G-CON, mientras que el grupo G-ROW demostró pesos de 99.00 ± 8.66 y una ganancia diaria promedio de 1.42 kg, para el día 117 el peso fue de 115.00 ± 8.89 kg con 0.42 kg de GDP y de 129.00 ± 12.17 kg con 0.90 de GDP para los grupos G-CON y G-ROW respectivamente. Comparando estos datos con lo que nos dice la NRC, el peso está por debajo ya que para los 100 días se espera un peso de 120 kg, mientras que en este experimento ese peso fue alcanzado a partir del día 117; pero por otro lado si comparamos la tasa de crecimiento donde se espera que sea de 0.7 kg por día según la NRC, (2021), el grupo G-CON demostró estar por encima de este estándar en casi todo el experimento, a excepción del día 110 al 117 (0.42 kg/d), mientras que el grupo G-ROW si estuvo por encima durante todo el experimento.

Como bien se ha mencionado, el desarrollo ruminal se logra a partir de la ingesta de materia seca y agua, este será fundamental para lograr un buen desarrollo en relación a la edad del animal, el peso inicial debe ser considerado, ya que otros estudios, los animales al destete han alcanzado valores más elevados, por otro lado la ganancia diaria de peso durante este estudio resultó óptima, con lo que se puede concluir que este comportamiento se debe al buen desarrollo ruminal que permite

tener una buena absorción de nutrientes y con ello proyectar una ganancia de peso adecuada.

El desarrollo ruminal se da gracias a los ácidos grasos volátiles, estos tienen origen en la fermentación que es el resultado de la interacción de la materia seca y el agua con el microbioma ruminal. En el rumen se encuentran grupos de bacterias como *Ruminococcus*, *Butyrivibrio*, *Prevotella*, *Fibrobacter*, *Coprococcus* y *Porphyromonas*, además de virus que han sido poco explorados y comprendidos por los desafíos que representa el aislamiento de estos (Sanjorjo *et al.*, 2023). La comunidad de protozoarios se compone de los del género *Dasytricha*, *Ostracodinium*, *Diplodinium*, *Polyplastron*, y el más dominante es *Entodinium* (Reis *et al.*, 2019), Wang *et al.* (2019), identificaron 3 filos de hongos en el rumen, *Basidiomycota*, *Ascomycota* y *Neocallimastigomycota*, siendo este último el más dominante en rumiantes. Mientras que la población de arqueas metanogénicas está dominada por *Methanomicrobium mobile*, *Methanococcus voltae* y *Methanobrevibacter* sp. (Guzmán *et al.*, 2016).

En este estudio no fue posible hacer una evaluación más precisa que permitiera tener una visión para entender el efecto del manejo, alimento, condiciones del animal y la relación que existe con la microbiota ruminal es por ello el uso de biotecnologías resulta fundamental para atender lo anterior.

Ademas se ha demostrado, que la ganancia de peso puede variar por factores como lo son el consumo de materia seca, el manejo del becerro y la estación del año, ya que aquellos becerros que nacen en época de verano han demostrado una menor ganancia diaria de peso (Place *et al.*, 1998). Por otro lado, es necesario considerar

que la edad y forma de destete tendrá efecto sobre el consumo de alimento, consecuentemente al ser el destete una etapa crítica para el animal existirá una descompensación que es difícil de recuperar para el animal (Sweeney *et al.*, 2010).

4.4. Medidas morfométricas

En el Cuadro 5 se presentan las mediciones morfométricas de los becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-ROW durante el periodo experimental. El análisis mediante modelo lineal mixto mostró un efecto significativo de la semana para todas las variables evaluadas ($P < 0.001$), incluyendo altura a la cruz (ACR), altura a la cadera (ACA), circunferencia torácica (CT), circunferencia abdominal (CA), largo corporal (LA) y condición corporal (CC), lo que indica un incremento progresivo de las medidas conforme avanzó el periodo experimental.

No se detectó efecto significativo del tratamiento para ninguna de las variables morfométricas (ACR: $P = 0.24$; ACA: $P = 0.47$; CT: $P = 0.85$; CA: $P = 0.91$; LA: $P = 0.85$; CC: $P = 0.46$), lo que indica que las dimensiones corporales fueron comparables entre G-CON y G-ROW. Se observó interacción significativa tratamiento $\times$ semana únicamente para circunferencia torácica (CT) ($P = 0.01$), evidenciando diferencias en el patrón de cambio de esta variable entre tratamientos a lo largo del tiempo. Para el resto de las variables, la interacción tratamiento $\times$ semana no fue significativa (ACR: $P = 0.07$; ACA: $P = 0.35$; CA: $P = 0.49$; LA: $P = 0.14$; CC: $P = 0.07$).

Cuadro 5 Mediciones morfométricas en becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-ROW durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias $\pm$ error estándar de la media (SEM).

Variable	Tratamiento		SEM	P-valores		
	G-CON	G-ROW		Tratamiento	Semana	Tratamiento × semana
ACR (cm)	91.4	95.3	1.44	0.24	<0.001	0.07
ACA (cm)	95.4	97.7	1.36	0.47	<0.001	0.35
CT (cm)	105	109	1.82	0.85	<0.001	0.01
CA (cm)	127	130	2.94	0.91	<0.001	0.49
LA (cm)	93.4	95.9	1.38	0.85	<0.001	0.14
CC ()	3.13	3.29	0.11	0.46	<0.001	0.07

ACR = Altura a la cruz; ACA = Altura a la cadera; CT = Circunferencia torácica; CA = Circunferencia abdominal; LA = Largo; CC = Condición corporal. SEM = Error estandar de la media. Diferencias estadísticas se consideraron significativas cuando $P < 0.05$.

Beceros de 56 días de edad su altura a la cruz fue de 86.20 (Omidi-Mirzaei *et al.*, 2018), en este estudio los para el día 61 la altura a la cruz promedio fue de 82.67 y 86.67 para el grupo G-CON y G-ROW respectivamente. Jafari *et al.* (2020), demostraron que animales de 70 días de edad tuvieron una altura a la cruz promedio de 91.83 cm, mientras que otros tuvieron una altura a la cruz de 87.8 cm (Pezhveh *et al.*, 2014) y becerros del presente estudio para el día 68, tuvieron una altura a la cruz promedio de 84.00 cm para el grupo G-CON y 87.67 cm para el grupo G-ROW.

Aragona et al. (2020), indican que en becerros de 56 días el promedio de altura a la cadera fue de 93.35 cm, mientras que becerros de 74 días aproximadamente en sus medidas morfométricas tuvieron una altura a la cadera de 93.30 cm (Olagunju et al., 2024). En este experimento a los 61 días tuvieron una altura a la cadera de 87.67 cm para el grupo de becerros G-CON y 90.00 cm para el grupo G-ROW, para el día 75 la altura a la cadera fue de 88.67 cm y 91.0 cm para el grupo G-CON y G-ROW respectivamente. A los 90 días, los becerros demostraron tener una altura a la cadera promedio de 103.33 cm (Mirzaei et al., 2018). El grupo G-CON tuvo 93.67 cm y G-ROW 96.00 cm para el día 89 de vida.

Yohe et al. (2022), demostró que becerros de 56 días de vida la circunferencia torácica promedio fue de 97.87 cm. Becerros de la misma edad, tuvieron una circunferencia torácica promedio de 97.05 cm, para el día 116 fue de 115.10 cm (Van Niekerk et al., 2020). En este experimento para el día 61 la circunferencia torácica fue de 92.67 cm para G-CON y de 94.33 cm para G-ROW, para el día 117 G-CON tuvo 110 cm y 116 cm para el grupo G-ROW.

Mirzakhani et al. (2021), en becerros de 74 días de vida, la circunferencia abdominal promedio fue de 86.53 cm. En este experimento para el día 75 el grupo G-CON tuvo 113.33 cm y G-ROW 116.00 cm, para el día 131 el peso promedio de ambos grupos fue de 137.67 ± 9.72 kg y la circunferencia abdominal fue de 148.67 cm para el grupo G-CON y de 152.67 cm para el grupo G-ROW. En otro experimento, becerros machos de 141.9 ± 3.49 kg de peso, tuvieron una circunferencia abdominal de 140.2 ± 1.67 cm, se menciona que este es variable, y depende de procesos fisiológicos y patológicos digestivos ruminales, además se debe de tener en cuenta la condición

del animal, si está en ayuno y horario en que se toma esta medida (Ramírez-Reyes *et al.*, 2021).

Beceros Holstein de 50 días de edad, tuvieron un largo de 74.53 ± 1.67 cm (Bartlett *et al.*, 2024), por otro lado, en un experimento realizado por Malekhhahi *et al.* (2021) los animales de 63 días de vida, tuvieron largo de 53.1 cm, para el día 77 fue de 55.6 cm. Mientras que becerros de 61 días de vida de este experimento el largo promedio fue de 81.67 cm para G-CON y de 83.33 cm para G-ROW, para el día 75, el grupo G-CON tuvo 85.67 cm y G-ROW 87.67 cm.

Beceros machos Holstein a los 56 días de vida, tuvieron una condición corporal promedio de 2.26 puntos (Klopp *et al.*, 2019), los becerros de este experimento para el día 60 de vida tuvieron una condición corporal de 3 puntos para grupo el G-CON y G-ROW, mientras que, en el experimento de Dennis *et al.* (2018), becerros de 112 días de vida presentaron una condición corporal de 2.4 puntos, y para el grupo G-CON tuvo 3 puntos y G-ROW 3.1 puntos, es decir en ambas comparativas los becerros de este experimento demostraron tener mayor puntaje en condición corporal. Esta medida va a depender de varios factores como el sistema de alimentación y la eficiencia que tenga, la población de animales que existan al momento de la evaluación, la experiencia del evaluador y su criterio (Ruchay *et al.*, 2020). Para la condición corporal, se utilizó una puntuación general del 1 al 5 (Edmonson *et al.*, 1989).

Las medidas morfométricas son herramientas importantes que nos permiten hacer un análisis sobre el comportamiento del crecimiento y desarrollo del animal, necesidades alimentarias y de salud; se debe de considerar que este proceso tiene

dificultades por el tiempo que suele llevar, la frecuencia en la que se tiene que hacer, el equipo que es necesario y que puede ser un manejo estresante para el animal (Weales *et al.*, 2021). Además, Hulbert *et al.* (2019), demostraron que el sistema y el espacio donde esté alojado el animal tiene influencia directa sobre el potencial de crecimiento en algunos becerros.

La variación en las medidas morfométricas está muy relacionada al consumo de materia seca, agua, el entorno y actitud en el que estén los animales, y con lo anterior, en el presente estudio existió diferencia estadística altamente significativa entre semanas para las medias de ACR, ACA, CA, LA y CC. Esto es esperado por el desarrollo y crecimiento del animal, pero al hacer la comparación con otros experimentos, los datos suelen ser muy cercanos, a excepción del largo y condición corporal, donde se obtuvieron valores mayores, hay que recordar que esta última medición tiende a ser subjetiva debido al criterio del evaluador.

Mientras que CT demostró una diferencia estadística altamente significativa entre semanas, su explicación es por crecimiento y desarrollo, también se observó diferencia significativa en tratamiento por semanas resultando superior el grupo G-R0W, lo que nos podría indicar que existió mejor desarrollo de la estructura ósea y órganos que conforman a la caja torácica. Mahecha *et al.* (2002), demostraron que el perímetro torácico es una medida morfométrica que tiene mayor relación directa con el peso vivo del animal. En otro estudio se pudo observar que existe relación entre el desarrollo pulmonar, patógenos y el crecimiento en becerros, será en la etapa postdestete donde sea visible los efectos de esta relación, con efecto compensatorio después del día 238 de vida (Fernandes *et al.*, 2025).

Si bien existen investigaciones sobre medidas morfométricas y su relación con el crecimiento y desarrollo de becerros, poco se ha evaluado como un parámetro que nos permita conocer el estado, salud del animal y además poder orientar acciones de manejo en los mismos.

5. CONCLUSIONES

La suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico durante la etapa de pre-destete mostró un efecto residual favorable sobre el desempeño de los becerros en el post-destete, reflejado principalmente en un mayor consumo de agua y en una tendencia numérica superior en el consumo de alimento, el peso y las medidas morfométricas del grupo suplementado. Aunque estas diferencias no fueron significativas en la mayoría de las variables, la ganancia diaria promedio se mantuvo dentro de los valores esperados, lo que indica un buen desarrollo y eficiencia productiva de los animales.

Dado el reducido número de animales, estos resultados deben considerarse preliminares. Para determinar con mayor precisión el efecto de los compuestos probiótico-prebióticos, se recomienda realizar estudios con un mayor número de animales y el uso de tecnologías como la secuenciación de ADN a partir de líquido ruminal o heces, que permitan conocer la dinámica del microbioma ruminal y su relación con los parámetros productivos.

6. LITERATURA CITADA

- Abdelfattah, E. M., Aly, S. S., Lehenbauer, T. W. y Karle, B. M. 2023. Effects of simplified group housing on behavior, welfare, growth performance, and health of preweaned dairy calves on a California dairy. *Journal of Dairy Science*. 107(6):3927-3940.
- Alawneh, J. I., Barreto, M. O., Moore, R. J., Soust, M., Al-Harbi, H., James, A. S., Krishnan, D. y Olchow, T. W. J. 2020. Systematic review of an intervention: the use of probiotics to improve health and productivity of calves. *Preventive Veterinary Medicine*. 183:105147.
- Alejos-de la Fuente, I., Almaráz-Buendía, I., Peralta-Ortiz, J., Meza-Nieto, M. y Torres-Cardona, G. 2020. Contribución al bienestar animal en la crianza de becerras de reemplazo: alojamiento en pareja. *Abanico Veterinario*. 10:1-10.
- Alvarez, A., del Corral, J., Solís, D. y Pérez, J. A. 2008. Does intensification improve the economic efficiency of dairy farms? *Journal of Dairy Science*. 91(9):3693-3698.
- Amado, L., Berends, H., Leal, L. N., Wilms, J., Van Laar, H., Gerrits, J. J. W. y Martín-Tereso, J. 2019. Effect of energy source in calf milk replacer on performance, digestibility, and gut permeability in rearing calves. *Journal of Dairy Science*. 102(5):3994-4001.
- Aragona, K. M., Suarez-Mena, F. X., Dennis, T. S., Quigley, J. D., Hu, W., Hill, T. M. y Schlotterbeck, R. L. 2020. Effect of starter form, starch concentration, and amount of forage fed on Holstein calf growth from 2 to 4 months of age. *Journal of Dairy Science*. 103(3):2324-2332.

- Arne, A. y Ilgaza, A. 2021. Prebiotic and symbiotic effect on rumen papilla length development and rumen pH in 12-week-old calves. *Veterinary World*. 14(11):2883-2888.
- Bartlett, K. S., McKeith, F. K., Molano, R. A., Van Amburgh, M. E., VandeHaar, M. J., Dahl, G. E. y Drackley, J. K. 2024. Growth and body composition of dairy calves fed only milk replacer at 3 intakes. *Journal of Dairy Science*. 107(10):7842-7850.
- Camacho-Cruz, J., Castañeda-Gutiérrez, L. D., Mongui-Gutiérrez, D., Martín-Ramírez, A., Espinoza-Orozco, A. M., Castillo-Chíquiza, J. S., Valencia-Hueras, L., Cuesta-Valencia, J. F., Avellaneda-Martínez, J. S., Gutiérrez-Burgos, C. A., Martín-Ramírez, P. A., Rincón-González, C. A. y Romero-Bernal, P. S. 2022. Probióticos: una mirada al mecanismo de acción y aplicaciones clínicas en pediatría. *Salud Uninorte*. 38(3):891-918.
- Cammack, K. M., Austin, K. J., Lamberson, W. R., Conant, G. C. y Cunningham, H. C. 2018. Ruminant nutrition symposium: Tiny but mighty: the role of the rumen microbes in livestock production. *Journal of Animal Science*. 96(2):752-770.
- Carulla, P., Villagrà, A., Estellés, F. y Blanco-Penedo, I. 2023. Welfare implications on management strategies for rearing dairy calves: A systematic review. Part 1-feeding management. *Frontiers in Veterinary Science*. 10:1148823.
- Casas, M. y Canto, F. 2015. La importancia del calostro en el bovino. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Remehue, Chile.

- Castells, L., Bach, A., Araujo, L., 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.
- Castillo-Olivera, J. O., Guerra-Medina, C. E., Ley-de Coss, A., Montañez-Valdez, O. D., Reyes-Gutiérrez, J. A., Escobar-España, J. C. y Posada-Cruz, S. 2018. Respuesta productiva de becerros lactantes suplementados con alimento iniciador más cultivo de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*). *Acta Universitaria*. 28(1):9-14.
- Castro-Flores, P. y Elizondo-Salazar, J. A. 2012. Crecimiento y desarrollo ruminal en terneros alimentados con iniciador sometidos a diferentes procesos. *Agronomía Mesoamericana*. 23(2):343-352.
- Clay, N., Garnett, T. y Lorimer, J. 2020. Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *Ambio*. 49:35-48.
- De las Heras-Torres, J. G., Osorio-Arce, M. M., Segura-Correa, J. C., Aranda-Ibáñez, E. y Aguilar-Cabrales, J. A. 2008. Factores que afectan las constantes de la curva de crecimiento de becerros en un sistema doble propósito en el trópico. *Revista Científica*. 18(4):393-397.
- Denholm, K. 2022. A review of bovine colostrum preservation techniques. *Journal of Dairy Research*. 89(4):345-354.
- Dennis, T. S., Suarez-Mena, F. X., Hill, T. M., Quigley, J. D., Schlotterbeck, R. L., Klopp, R. N., Lascano, G. J. y Hulbert, L. 2018. Effects of gradual and later weaning ages when feeding high milk replacer rates on growth, textured starter digestibility, and

behavior in Holstein calves from 0 to 4 months of age. *Journal of Dairy Science*. 101(11):9863-9875.

Desdémona-Martínez, E. 2023. Implicaciones que influyen en el desempeño productivo, característica de la canal y de la carne de ganado bovino engordado en corral. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 34(3):1-27.

Diao, Q., Zhang, R. y Fu, T. 2019. Review of strategies to promote rumen development in calves. *Animals*. 9(8):490.

Eckert, E., Brown, H. E., Leslie, K. E., DeVries, T. J. y Steele, M. A. 2015. Weaning age effects growth, feed intake, gastrointestinal development, and behavior in Holstein calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning stage. *Journal of Dairy Science*. 98:6315-6326.

Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T. y Webster, G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 72(1):68-78.

Eetvelde, M. V. y Opsómero, G. 2017. Innovative look at dairy heifer rearing: effect of prenatal and post-natal environment on later performance. *Reproduction in Domestic Animals*. 52(Suppl. 3):30-36.

Elsayed-Mahmoud, M., Ali-Mahmoud, A. y Elsayed-Ahmed, A. 2016. Impacts of self- and cross-sucking on cattle health and performance. *Veterinary World*. 9(9):922-928.

Eriksson, H., Fall, N., Ivemeyer, S., Knierim, U., Simantke, C., Fuerst-Waltl, B., Winckler, C., Weissensteiner, R., Pomiés, D., Martin, B., Michaud, A., Priolo, A., Caccamo, M., Sakowski, T., Stachelek, M., Spengler, A., Bieber, A., Schneider, C. y Alvasen, K.

2022. Strategies for keeping dairy cows and calves together - a cross-sectional survey study. *Animal*. 16(9):100624.

FAO. 1997. Análisis de sistemas de producción animal: las bases conceptuales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Producción y Sanidad Animal. 1:1-80.

FAO. 2009. The state of food and agriculture 2009. Livestock in balance. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO. 2011. Ganadería y seguridad alimentaria mundial. Ganadería mundial. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1-43.

FAO/CGRFA. 2023. Microorganismos de interés para la digestión de los rumiantes. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura.

FAO/OMS. 2001. Consulta de expertos FAO/OMS sobre evaluación de las propiedades saludables y nutricionales de los probióticos en los alimentos, incluida la leche en polvo con bacterias vivas del ácido láctico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud.

Fernandes, I. L. B., Welk, A., Renaud, D. L., Sockett, D., Felix, T. L. y Cantor, M. C. 2025. The association of lung consolidation and respiratory pathogens identified at weaning on the growth performance of beef-on-dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 108(4):3980-3990.

Flower, F. C. y Weary, D. M. 2001. The effects of early separation on the dairy cow and calf. *Animal Welfare*. 12(3):339-348.

- FONCET. 2022. Diagnóstico ambiental y socioeconómico para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Chiapas, México. Agencia Francesa de Desarrollo y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México.
- Fu, Y., He, Y., Xiang, K., Zhao, C., He, Z., Qiu, M., Hu, X. y Zhang, N. 2022. The role of rumen microbiota and its metabolites in subacute ruminal acidosis (SARA)-induced inflammatory diseases of ruminants. *Microorganisms*. 10(8):1495.
- García, M., Bradford, B. J. y Nagaraja, G. 2017. Invited review: Ruminal microbes, microbial products and systemic inflammation. *The Professional Animal Scientist*. 33(6):635-650.
- Gelsinger, S. L., Heinrichs, A. J. y Jones, C. M. 2016. A meta-analysis of the effects of preweaned calf nutrition and growth on first-lactation performance. *Journal of Dairy Science*. 99(8):6206-6214.
- Godden, S. M., Lombard, J. E. y Woolums, A. R. 2019. Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 35:535-556.
- Goeller, H. B., Downey, B. C. y Tucker, C. B. 2023. Limit feeding total mixed rations exacerbates intersucking in year-old dairy heifers. *Journal of Dairy Science*. 106(12):9494-9506.
- González-Avalos, R., Peña-Revuelta, B. P., Ramírez-Uranga, K. Q., González-Avalos, J. y Macías-Ortiz, E. J. 2022. Estimación del costo de alimentación de becerras Holstein lactantes. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 51:245-254.
- 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*. 45:399-553.

Grothe, J. y Thornsberry, R. M. 2022. Commercial dairy calf management: impact on performance and health. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 38(1):63-75.

Guilloteau, P., Zabielski, R. y Blum, J. W. 2009. Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations. *Journal of Physiology and Pharmacology*. 60(Suppl. 3):37-46.

Gutiérrez-Borroto, O. 2015. La fisiología digestiva del rumiante, objeto de investigación en el Instituto de Ciencia Animal durante cincuenta años. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 49(2):179-188.

Guzmán, C. E., Bereza-Malcolm, L. T., De Groef, B. y Franks, A. E. 2016. Uptake of milk with and without solid feed during the monogastric phase: effect on fibrolytic and methanogenic microorganisms in the gastrointestinal tract of calves. *Animal Science Journal*. 87(3):378-388.

Hammon, H. M., Liermann, W., Frieten, D. y Koch, C. 2020. Review: Importance of colostrum supply and milk feeding intensity on gastrointestinal and systemic development in calves. *Animal*. 14(S1):s133-s143.

Hand, M. S., Oliver, W. K. y Lewis, L. D. 1995. *Small Animal Clinical Nutrition*. Mark Morris Institute, Topeka, Kansas.

Hulbert, L. E., Calvo-Lorenzo, M. S., Ballou, M. A., Klasing, K. C. y Mitloehner, F. M. 2019. Space allowance influence individually housed Holstein male calves' age at feed

consumption, standing behaviors, and measures of immune resilience before and after step-down weaning. *Journal of Dairy Science*. 102(5):4506-4521.

International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature (ICVGAN). 2005. *Nomina Anatomica Veterinaria*. 5th ed. Editorial Committee, Hannover, Columbia, Gent, Sapporo.

Iqbal, Z., Rashid, M. A., Pasha, T. N. y Ahmed, J. 2019. Effects of physical forms of total mixed rations on intake, weaning age, growth performance, and blood metabolites of crossbred dairy calves. *Animals*. 9(8):495.

Jafari, A., Azarfar, A., Ghorbani, G. R., Mirzaei, M., Khan, M. A., Omid-Mirzaei, H., Pakdel, A. y Ghaffari, M. H. 2020. Effects of physical forms of starter and milk allowance on growth performance, ruminal fermentation, and blood metabolites of Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 103(12):11300-11313.

Jasper, J. y Weary, D. M. 2002. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 85(11):3054-3058.

Jensen, M. B. y Vestergaard, M. 2021. Invited review: Freedom from thirst-Do dairy cows and calves have sufficient access to drinking water? *Journal of Dairy Science*. 104(11):11368-11385.

Kennedy, K., Madler, A., Noack, C. y Alcaine, S. 2025. Graduate Student Literature Review: advancing synthetic biology in the dairy industry-Innovations, applications, and policy implications. *Journal of Dairy Science*. 109(1):83-91.

Kertz, A. F. 2007. Letter to the editor: Pellet calf starter with straw access can confound results: A comment on Bach. *Journal of Dairy Science*. 90:4924.

- Kertz, A. F., Hill, T. M., Quigley III, J. D., Heinrichs, A. J., Linn, J. G. y Drackley, J. K. 2017. A 100-Year Review: Calf nutrition and management. *Journal of Dairy Science*. 100(12):10151-10172.
- Kertz, A. F., Reutzel, L. F. y Mahoney, J. H. 1984. Ad libitum water intake by neonatal calves and its relationship to calf starter intake, weight gain, feces score and season. *Journal of Dairy Science*. 67:2964-2969.
- Klopp, R. N., Suarez-Mena, F. X., Dennis, T. S., Hill, T. M., Schlotterbeck, R. L. y Lascano, G. J. 2019. Effects of feeding different amounts of milk replacer on growth performance and nutrient digestibility in Holstein calves to 2 months of age using different weaning strategies. *Journal of Dairy Science*. 102(12):11040-11050.
- Larson, R. 2022. Modeling preweaning dairy calf performance. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 38(1):51-62.
- Lorenz, I. 2021. Calf health from birth to weaning - an update. *Irish Veterinary Journal*. 74(5):1-7.
- Mahecha, L., Angulo, J. y Manrique, L. P. 2002. Estudio bovinométrico y relaciones entre medidas corporales y el peso vivo en la raza Lucerna. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 15(1):80-87.
- Malekkhahi, M., Vyas, D., Bazgir, A., Bagheri, F., Ebdalabadi, N. M. y Razzaghi, A. 2021. Increased steam-conditioning temperature of corn grain affects performance, skeletal growth, and blood metabolites in Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 104(12):12486-12495.

- Martín-Bellido, M., Escribano-Sanchez, M., Mesías-Díaz, F. J., Rodríguez de Ledesma-Vega, A. y Pulido-García, F. 2001. Sistemas extensivos de producción animal. Archivos de Zootecnia. 50(192):465-489.
- Mirzaei, M., Dadkhah, N., Baghbenzadeh-Nobari, B., Agha-Tehrani, A., Eshraghi, M., Imani, M., Shiasi-Sardoabi, R. y Ghaffari, M. H. 2018. Effects of preweaning total plane of milk intake and weaning age on intake, growth performance, and blood metabolites of dairy calves. Journal of Dairy Science. 101(5):4212-4220.
- Mirzaei-Alamouti, H., Salehi, S., Khani, M., Vazirigohar, M. y Aschenbach, J. R. 2025. Changes in ruminal fermentation and growth performance in calves after increasing ruminal undegradable protein at two different time points pre-weaning. Animals. 15(6):804.
- Mirzakhani, A., Ghorbani, G. R., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Rafiee, H. y Drackley, J. K. 2021. Effects of starter protein content and alkali processing of wheat straw on growth, ruminal fermentation, and behavior in Holstein calves. Journal of Dairy Science. 104(3):3098-3108.
- Monge-Rojas, C. R. y Elizondo-Salazar, J. A. 2016. La importancia del agua en la crianza de reemplazos de lechería. Nutrición Animal Tropical. 10(1):1-9.
- Mott, A. C., Schneider, D., Hünereng, M., Hummel, J. y Tetens, J. 2022. Bovine rumen microbiome: Impact of DNA extraction methods and comparison of non-invasive sampling sites. Ruminants. 2:112-132.

- National Research Council (NRC). 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, Committee on Nutrient Requirements of Dairy Cattle, Washington, DC.
- Newbold, C. J. y Ramos-Morales, E. 2020. Review: Ruminal microbiome and microbial metabolome: effects of diet and ruminant host. *Animal*. 14(1):78-86.
- OCDE/FAO. 2017. Carne. Perspectivas Agrícolas 2017-2026. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico/Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Office International des Epizooties (OIE). 2019. Bienestar animal y sistemas de producción de ganado vacuno de carne. Código Sanitario para los Animales Terrestres, Capítulo 7.9, artículo 7.9.3.
- Office International des Epizooties (OIE). 2024. Bienestar de los animales. Introducción a las recomendaciones para el bienestar de los animales. Capítulo 7.1, artículo 7.1.2.
- Olagunju, L. K., Casper, D. P., Officer, M., Klanderman, K. y Anele, U. Y. 2024. Male Holstein calves fed a milk replacer and pelleted starter containing a botanical extract or a direct-fed microbial alone or in combination. *Journal of Dairy Science*. 107(12):10838-10850.
- Omidi-Mirzaei, H., Azarfar, A., Kiani, A., Mirzaei, M. y Ghaffari, M. H. 2018. Interaction between the physical forms of starter and forage source on growth performance and blood metabolites of Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 101(7):6074-6084.

- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). 2016. Manual de buenas prácticas para establecer el Sistema de Finca Segregada en el sector primario: corral de engorde con fines de exportación de carne y sus derivados a la Unión Europea. Dirección Regional de Inocuidad de Alimentos del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria.
- Overvest, M. A., Crossley, R. E., Miller-Cushon, E. K. y DeVries, T. J. 2018. Social housing influences the behavior and feed intake of dairy calves during weaning. *Journal of Dairy Science*. 101:8123-8134.
- Owens, F. N., Dubeski, P. y Hanson, C. F. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*. 71(11):3138-3150.
- Palma-García, J. M. 2014. Escenarios de sistemas de producción de carne de bovinos en México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18(1):53-62.
- Pared, S. I., Bergonzelli, P. y Bilbao, G. 2017. Consumo y crecimiento de terneros criados artificialmente con dietas sólidas diferentes. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA).
- Parsons, S. D., Steele, M. A., Leslie, K. E., Renaud, D. L. y DeVries, T. J. 2020. Investigation of weaning strategy and solid feed location for dairy calves individually fed with an automated milk feeding system. *Journal of Dairy Science*. 103(7):6533-6556.
- Parsons, S. D., Steele, M. A., Leslie, K. E., Renaud, D. L., Reedman, C. N., Winder, C. B. y DeVries, T. J. 2021. Effect of a milk byproduct-based calf starter feed on dairy calf

nutrient consumption, rumen development, and performance when fed different milk levels. *Journal of Dairy Science*. 105(1):281-300.

Passillé, A. M., Borderas, T. T. y Rushen, J. 2011. Weaning age of calves fed a high milk allowance by automated feeders: effects on feed, water and energy intake, behavioral signs of hunger, and weight gains. *Journal of Dairy Science*. 94(3):1401-1408.

Pérez, W., Duro, S. y Gündemir, O. 2023. Anatomical differences in the omasum of weaning calves fed with different diets. *Anatomia*. 2(2):176-188.

Pezhveh, N., Ghorbani, G. R., Rezamand, P. y Khorvash, M. 2014. Effects of different physical forms of wheat grain in corn-based starter on performance of young Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 97(10):6382-6390.

Place, N. T., Heinrichs, A. J. y Erb, H. N. 1998. The effects of disease, management, and nutrition on average daily gain of dairy heifers from birth to four months. *Journal of Dairy Science*. 81(4):1004-1009.

Pokhrel, B. y Jiang, H. 2024. Postnatal growth and development of the rumen: Integrating physiological and molecular insights. *Biology*. 13(4):269.

Quigley, J. D. 2023. Invited review: an evaluation of EFSA opinion on calf welfare from a nutritional and management perspective. *Journal of Dairy Science*. 107(10):7483-7503.

Quigley, J. D., Schwab, C. G. y Hylton, W. E. 1985. Development of rumen function in calves: Nature of protein reaching the abomasum. *Journal of Dairy Science*. 68:694-702.

- Ramírez-Reyes, B., Mtegho-Banzi, N., Rodríguez-Valera, Y., Font-Puente, H., Almaguer-Pérez, Y. y Gutiérrez-Borroto, O. 2021. Body measurements and live weight estimation in pre-weaning calves in Granma province, Cuba. *Journal of Animal and Environmental Research*. 2(1):1-14.
- Ramírez-Rivera, E. J., Rodríguez-Miranda, J., Huerta-Mora, I. R., Cárdenas-Cágal, A. y Juárez-Barrientos, J. M. 2019. Tropical milk production systems and milk quality: a review. *Tropical Animal Health and Production*. 51(6):1295-1305.
- Reed, L. M., Renaud, D. L. y DeVries, T. J. 2022. Male dairy calf welfare: A Canadian perspective on challenges and potential solutions. *The Canadian Veterinary Journal*. 63(2):187-193.
- Reis, C. C., Maeda, E. M., Cedrola, F., Martinis, E. N., De Paula, F. M. y Martinele, I. 2019. Diet and breed alter community structures of rumen protozoa in cattle subjected to different feeding systems. *Semina: Ciências Agrárias*. 40(2):909-918.
- Rojo-Rubio, R., Vázquez-Armijo, J. F., Pérez-Hernández, P., Mendoza-Martínez, G. D., Salem, A. Z. M., Albarrán-Portillo, B., González-Reyna, A., Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S., Cardoso-Jiménez, D., Dorantes-Coronado, E. J. y Gutiérrez-Cedillo, J. G. 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 41:715-721.
- Rossner, M. V., Aguilar, N. K. y Koscinczuk, P. 2010. Bienestar animal aplicado a la producción bovina. *Revista Veterinaria*. 21(2):151-156.

- Ruchay, A., Kober, V., Dorofeev, K., Kolpakov, V. y Miroshnikov, S. 2020. Accurate body measurement of live cattle using three depth cameras and non-rigid 3-D shape recovery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 179:105821.
- Sanjorjo, R. A., Tseten, T., Kang, M. K., Kwon, M. y Kim, S. W. 2023. In pursuit of understanding the rumen microbiome. *Fermentation*. 9(2):114.
- Senevirathne, N. D., Anderson, J. L. y Rovai, M. 2018. Growth performance and health of dairy calves given water treated with a reverse osmosis system compared with municipal city water. *Journal of Dairy Science*. 101(10):8890-8901.
- SIAP. 2024. Datos abiertos. Estadística de Producción Ganadera. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Sidney, J. L. y Huber, J. T. 1989. Digestión, metabolismo y necesidades nutritivas en pre-rumiantes. En: *El Rumiante: Fisiología digestiva y nutrición*. pp. 459-481.
- Simmons, J. 2014. La lucha por la seguridad alimentaria del mañana. Informe sobre cómo alimentaremos al mundo. ELANCO, España.
- Soder, K. J. y Brito, A. F. 2023. Enteric methane emissions in grazing dairy systems. *JDS Communications*. 4(4):324-328.
- Soltis, M. P., Moorey, S. E., Egert-McLean, A. M., Shepherd, E. A. y Myer, P. R. 2023. Rumen biogeographical regions and microbiome variation. *Microorganisms*. 11(3):1-12.

- Spina, A. A., Tortades, M., Britti, D., Grande, R. y Morittu, V. M. 2024. Does pelleted starter feed restriction and provision total mixed ration ad libitum during weaning influence the behavior of dairy calves? *Animals*. 14(9):2759.
- Stamey, J. A., Janovick, N. A., Kertz, A. F. y Drackley, J. K. 2012. Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program. *Journal of Dairy Science*. 95(6):3327-3336.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y Haan, C. 2006. *Livestock's Long Shadow*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Sweeney, B. C., Rushen, J., Weary, D. M. y Passillé, A. M. 2010. Duration of weaning, starter intake, and weight gain of dairy calves fed large amounts of milk. *Journal of Dairy Science*. 93(1):148-152.
- Terré, M., Devant, M. y Bach, A. 2016. The importance of calf sensory and physical preferences for starter concentrates during pre- and postweaning periods. *Journal of Dairy Science*. 99(9):7133-7142.
- Tian, J., Lu, G., Gibson, A. M., Ma, H., Chen, Z., Chen, Z., Li, X., Wang, Y., Zhuang, Y., Peng, Y., Hu, R., Peng, Q., Wang, L., Xue, B., Wang, Z. y Xiao, J. 2026. Effects of bedding type and forage provision on growth performance, health, and rumen fermentation in dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 109(6):6140-6155.
- Tigmasa-Paredes, K. P. 2022. Contribución de las emisiones de gas metano producidas por el ganado bovino al cambio climático. *Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad*. 5:1-12.

- Valdez-López, E. y Jaimes-Jaimes, J. 2011. Evaluación del desarrollo de becerras lactantes de reemplazo Holstein utilizando virginiamicina y OmniGen-AF. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 10(1):79-84.
- Van Niekerk, J. K., Fischer-Tlustos, A. J., Deikun, L. L., Quigley, J. D., Dennis, T. S., Suarez-Mena, F. X., Hill, T. M., Schlotterbeck, R. L., Guan, L. L. y Steele, M. A. 2020. Effect of amount of milk replacer fed and the processing of corn in starter on growth performance, nutrient digestibility, and rumen and fecal fibrolytic bacteria of dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 103(3):2186-2199.
- Van Niekerk, J. K., Fischer-Tlustos, A. J., Wilms, J. N., Cangiano, L. R., Leal, L. N. y Steele, M. A. 2021. ADSA Foundation Scholar Award: new frontiers in calf and heifer nutrition-from conception to puberty. *Journal of Dairy Science*. 104(8):8341-8362.
- Vargas-Ramírez, A. M. y Elizondo-Salazar, J. A. 2014. Determinación de consumo de alimento balanceado y agua, y medidas de crecimiento en terneras Holstein en una finca lechera comercial. *Nutrición Animal Tropical*. 8(2):36-50.
- Velásquez-Muñoz, A., Meza-Correa, N., Sao, S., Manríquez, D., Román-Muniz, I. N. y Pinedo, P. J. 2022. Effect of a 2-step probiotic program on digestive health and performance of Holstein heifer calves. *Journal of Dairy Science*. 105(9):7642-7653.
- Wang, H., Li, P., Liu, X., Zhang, C., Lu, Q., Xi, D., Yang, R., Wang, S., Bai, W., Yang, Z., Zhou, R., Cheng, X. y Leng, J. 2019. The composition of fungal communities in the rumen of Gayals (*Bos frontalis*), Yaks (*Bos grunniens*), and Yunnan and Tibetan Yellow Cattle (*Bos taurus*). *Journal of Microbiology*. 57(4):505-514.

- Wang, S., Diao, Q. Y., Hu, F. M., Bi, Y. L., Piao, M. Y., Jiang, L. S., Sun, F., Li, H. y Tu, Y. 2022. Development of ruminating behavior in Holstein calves between birth and 30 days of age. *Journal of Dairy Science*. 105(1):572-584.
- Weales, D., Moussa, M. y Tarry, C. 2021. A robust machine vision system for body measurements of beef calves. *Smart Agricultural Technology*. 1:100021.
- Wickramasinghe, H. K. J. P., Anast, J. M., Schmitz-Esser, S., Serão, N. V. L. y Appuhamy, J. A. D. R. N. 2020. Beginning to offer drinking water at birth increases the species richness and the abundance of *Faecalibacterium* and *Bifidobacterium* in the gut of preweaned dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 103(5):4262-4274.
- Wickramasinghe, H. K. J. P., Kramer, A. J. y Appuhamy, J. A. D. R. N. 2018. Drinking water intake of newborn dairy calves and its effects on feed intake, growth performance, health status, and nutrient digestibility. *Journal of Dairy Science*. 102:377-387.
- Wu, X., Elekwachi, C. O., Luo, Y., Zhang, T. y Forster, R. J. 2021. Characterizing the alteration in rumen microbiome and carbohydrate-active enzymes profile with forage of muskoxen rumen through comparative metatranscriptomics. *Microorganisms*. 10(1):1-19.
- 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.
- Yohe, T. T., Dennis, T. S., Buss, L. N., Croft, E. J. D., Quigley, J. D., Hill, T. M., Suarez-Mena, F. X., Aragona, K. M., Laarman, A. H., Costa, J. H. y Steele, M. A. 2022. Performance and visceral tissue growth and development of Holstein calves fed

differing milk replacer allowances and starch concentrations in pelleted starter.
Journal of Dairy Science. 105(5):4099-4115.