

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Proteína de sobrepaso en vacas lecheras

Por:

Karen Daniela Hernández Jiménez

MEMORIAS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

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 PRODUCCIÓN ANIMAL

Proteína de sobrepaso en vacas lecheras

Por:

Karen Daniela Hernández Jiménez

MEMORIAS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

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

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



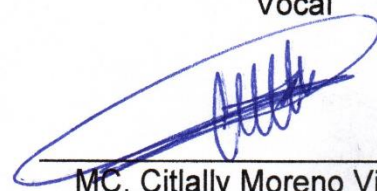
Dr. Silvestre Moreno Ávalos
Presidente



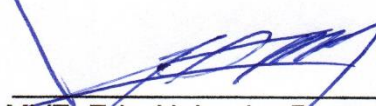
MC. Carlos Raúl Rascón Díaz
Vocal



MC. Aracely Zúñiga Serrano
Vocal



MC. Citlally Moreno Villeda
Vocal suplente externo



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 PRODUCCIÓN ANIMAL

Proteína de sobrepaso en vacas lecheras

Por:

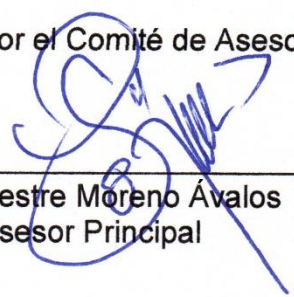
Karen Daniela Hernández Jiménez

MEMORIAS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

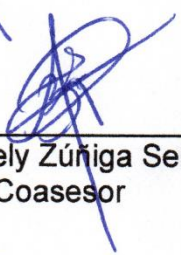
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Silvestre Moreno Ávalos
Asesor Principal



MC. Carlos Raúl Rascón Díaz
Coasesor



MC. Aracely Zúñiga Serrano
Coasesor



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



Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

Agradecimientos

Agradezco profundamente la oportunidad de haber cursado la carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia, vocación que desde siempre ha sido mi más grande sueño y motivo de vida. Desde el primer día que ingresé a la universidad, supe que me encontraba en el lugar al que verdaderamente pertenecía.

A mis padres, quienes con su apoyo incondicional hicieron posible que este sueño se convirtiera en realidad.

A mi padre, por brindarme los medios para recorrer este camino, por su esfuerzo, compromiso y amor que me acompañó en cada trayecto hacia la universidad.

A mi madre, por su cariño constante, comprensión y fortaleza, pilares fundamentales en cada etapa de mi formación. Ustedes son el cimiento de todo lo que soy.

A mis profesores, quienes fueron verdaderos mentores e inspiración. Gracias por su dedicación, paciencia y por transmitir su conocimiento con tanta pasión. Cada uno de ustedes dejó una huella imborrable en mi vida profesional y personal.

A mi mejor amigo Mario, compañero de risas, desvelos y aventuras. Gracias por estar siempre, por hacer del camino algo más ligero, hermoso y humano. Gracias por enseñarme que la disciplina y constancia te abre grandes puertas. ¡Cualquier carrera que cursara, desearía que fuera contigo!

Finalmente, agradezco a mí misma, por la constancia, el esfuerzo, el amor, la disciplina y valentía de seguir mi vocación. Ser Médico Veterinario Zootecnista representa para mí no solo una profesión, sino el cumplimiento de un propósito de vida.

Gracias gracias gracias.

Dedicatorias

A mis padres, que fueron mi mayor soporte durante este hermoso viaje y por haberme dado las alas (y mi primer auto que me llevó cada mañana rumbo a mi sueño), que con su amor y apoyo me regalaron la oportunidad de cumplir mi propósito y gran amor. Gracias por enseñarme siempre hacer todo con amor y constancia.

A mi yo niña, que soñaba con ser Veterinaria y hoy puede decir con el corazón lleno: “lo lograste”.

Me agradezco por no soltar el sueño más hermoso que tuve: ser Médico Veterinario Zootecnista. Hoy eres la prueba de que los sueños sí se cumplen, de que la pasión y el amor por la medicina animal pueden construir una vida entera.

Y a Palomo, que también fue parte del viaje, llevándome segura a cada práctica, a cada clase, a cada paso de este camino. Gracias por hacer posible y seguro cada kilómetro hacia mi destino.

Dedico esta tesis a todo lo que me trajo hasta aquí: a mis maestros, mis amigos, mi mejor amigo Mario, y a esa sensación maravillosa de saber que logré lo que vine a este mundo: a ser Médico Veterinario Zootecnista.

ÍNDICE

Agradecimientos	i
Dedicatorias	ii
RESUMEN	v
I.- Introducción	1
2.1- Generalidades de la productividad de vacas lecheras en la Comarca Lagunera	2
2.2- Anatomía y fisiología de rumen	3
2.3- Definición y clasificación de las proteínas de derivación	5
2.4.1- Efectos sobre la producción y composición de la leche	8
2.4.2- Eficiencia alimentaria y utilización de nutrientes	10
2.4.3- Tasas óptimas de inclusión y estrategias de alimentación	11
2.4.4- Consideraciones económicas	12
III.- Conclusiones y recomendaciones.....	13
IV.- Literatura citada	14

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y FIGURAS

Ilustración 1 Pilares y surcos ruminales visualizados en un rumen etiquetado.	
.....	5
Ilustración 2 Microorganismos Ruminales, la Síntesis de Proteínas y el uso de proteínas de sobrepaso (INTAGRI, 2018).	
.....	6
Ilustración 3 Factores clave que influyen en la viabilidad económica de la suplementación con proteínas de sobrepaso (Adaptado de Bales y Lock, 2024: Lee et ál., 2025)	
.....	12
Ilustración 4 Beneficios económicos a largo plazo (Adaptado de Bales y Lock, 2024: Lee et ál., 2025)	
.....	12
Tabla 1 Comparación de tipos	
.....	7

RESUMEN

La proteína de sobrepaso, también conocida como proteína protegida en el rumen (PPR) o proteína no degradable en rumen (PNDR), es una estrategia nutricional que busca reducir la degradación de las proteínas en el rumen y mantener su digestibilidad en el intestino delgado. Esto permite un suministro más eficiente de aminoácidos y una mejor utilización del nitrógeno en vacas lecheras de alta producción.

Su uso ha cobrado importancia debido a que los sistemas tradicionales de alimentación proteica suelen generar pérdidas de nitrógeno y un aporte insuficiente de aminoácidos para satisfacer los requerimientos productivos. Al evitar la degradación ruminal, la proteína de sobrepaso mejora la eficiencia alimenticia y contribuye al desempeño productivo del ganado lechero.

En la presente revisión de literatura se recopiló información científica sobre el uso de la proteína de sobrepaso en vacas lecheras, complementándola con experiencias profesionales relacionadas con su comercialización, como parte de los requisitos para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista de una servidora.

Palabras clave: Bovinos, Holstein, Rumen, Enzima, Nitrógeno, Digestibilidad

I.- Introducción

Egrese en el año 2021 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en la actualidad me dedico a la comercialización de alimentos para ganado lechero. En particular me he involucrado más con la proteína no degradable en rumen (PNDR), comúnmente conocida como proteína de sobrepaso.

El concepto de proteína de sobrepaso se basa en el principio de reducir la degradabilidad ruminal de la proteína, manteniendo al mismo tiempo la digestibilidad intestinal. Este enfoque permite una nutrición más precisa de aminoácidos y una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en el ganado lechero (Titze et ál., 2024).

El uso eficiente de la proteína de sobrepaso en el ganado lechero ha sido un tema central en la investigación sobre nutrición de rumiantes durante décadas. Los sistemas tradicionales de alimentación proteica suelen provocar una excreción excesiva de nitrógeno y un aporte subóptimo de aminoácidos en vacas lecheras de alta producción. La tecnología de proteínas de sobrepaso, también conocida como proteína protegida en el rumen (PPR), ha surgido como una solución a estos desafíos al administrar proteínas y aminoácidos específicos directamente al intestino delgado, evitando la degradación ruminal (Thakur et ál., 2024).

El objetivo de esta revisión de literatura es, recopilar información científica relacionada con el tema del uso de proteína de sobrepaso en vacas lecheras, o también conocida como proteína no degradable en rumen (PNDR), incluyendo la retroalimentación con base en la experiencia profesional en la comercialización del

producto. Con la finalidad de cubrir el requisito parcial para ser acreedora al título de médico veterinario zootecnista.

2.1- Generalidades de la productividad de vacas lecheras en la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera, ubicada en un clima semiárido y cálido, es la región lechera más importante de México, aportando el 20% de su producción total (SIAP, 2013). El sistema intensivo de producción lechera en la región de La Laguna se distingue por la existencia de extensas explotaciones que cuentan con más de 1,000 vacas en lactancia y terrenos destinados al cultivo de forrajes mediante riego (Figueroa-Viramontes et ál., 2015).

En México, la actividad de producción de leche se considera lucrativa, dentro del proceso de la leche, hay 130 empresas formales que se encargan de procesar el 86% de la producción del país, empleando a unas 42 mil personas, se registran numerosas empresas familiares, lo que eleva el valor total a más de 380 mil millones de pesos (SADER, 2018). Esta industria tiene un impacto económico multiplicador de 1.71, lo que significa que por cada peso que reciben los productores, se generan 71 centavos adicionales en la cadena productiva (Gómez, 2021).

La Comarca Lagunera, ubicada en el árido norte mexicano, genera más del 20% de la producción total de leche bovina en el país, el estrés por las altas temperaturas se presenta durante más de 300 días al año; esta agresión ambiental promueve las respuestas compensatorias de los animales, tanto desde el punto de vista fisiológico como etológico. El estrés calórico provoca una menor eficiencia de la conversión de alimento a leche, reduciendo la producción de leche tanto a nivel del hato como de

la vaca, poniendo en peligro no solo el bienestar animal al reducir las horas de descanso, sino también el porcentaje de vacas en lactancia, afectadas por el efecto de la baja fertilidad causada por las altas temperaturas ambientales. Aún más crítico, no solo las pérdidas económicas, tanto a nivel del productor como de la industria lechera, sino también las pérdidas nutricionales que conlleva a nivel social, indudablemente impactan el enorme desafío que enfrenta la industria ganadera lechera en la Comarca Lagunera, desde las perspectivas ambiental, biológica, productiva, económica y social (Rodríguez-Venegas et ál., 2023).

2.2- Anatomía y fisiología de rumen

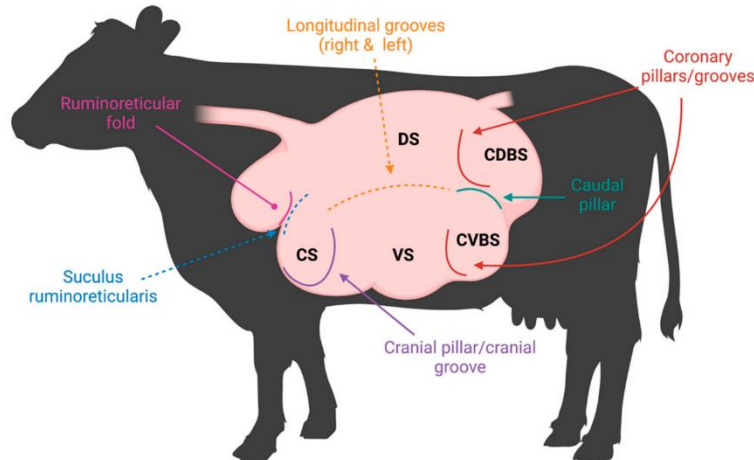
Los rumiantes se distinguen de los animales monogástricos por el desarrollo de una serie de bolsas anteriores a su estómago gástrico. Toda la superficie interna está cubierta de proyecciones densamente queratinizadas que aumentan considerablemente la superficie disponible para la absorción. Las papilas difieren en tamaño, tanto según la especie como según su ubicación en el rumen, y varían desde pequeños conos de altura hasta grandes estructuras aplanadas con forma de hoja. La distribución de las papilas no es uniforme; en la mayoría de los rumiantes, los lados de los sacos dorsal y ventral del rumen son los más densamente papilados y también presentan las papilas más grandes. Los microorganismos mejor adaptados para crecer y metabolizar en el entorno descrito son los anaerobios y los anaerobios facultativos, capaces de hidrolizar los polímeros estructurales de carbohidratos del forraje y de utilizar los azúcares solubles liberados como fuentes de energía y carbono para la biosíntesis. Las altas densidades poblacionales solo son posibles si la población presenta una

considerable diversidad metabólica y si las actividades metabólicas de organismos fisiológicamente diferentes están estrechamente integradas. Ambas condiciones se dan en el reticulorumen (Harfoot, 1981).

El sistema microbiano en el rumen es muy complejo y está compuesto principalmente por protozoos (ciliados), bacterias, hongos anaeróbicos y una arquea. Estos microorganismos fermentan el alimento en el rumen para que los organismos puedan proporcionar nutrientes para mantener las actividades fisiológicas del huésped (Williams y Coleman, 1992).

La fermentación del material vegetal se realiza dentro del estómago de cuatro cámaras del ganado, que consiste en el retículo, el rumen, el omaso y el abomaso (Krehbiel, 2014), donde el rumen proporciona un entorno adecuado para que residan los microbios. Es importante destacar que, debido a los pilares, surcos y pliegues que

rumen, hay
ruminales
que crea



delimitan el
cinco sacos
distintos, lo
entornos

subruminales variables (Ilustración 1). Por lo tanto, estos sacos distintos pueden contener comunidades microbianas que se han aclimatado a las diversas regiones biogeográficas dentro del rumen (Soltis et ál., 2023).

Ilustración 1 Pilares y surcos ruminales visualizados en un rumen etiquetado.

Representación visual de la musculatura que delimita el rumen tanto internamente (pilares) como externamente (surcos). Los sacos ruminales se etiquetan de la siguiente manera: saco craneal (SC), saco ciego caudodorsal (SCDC), saco ciego caudoventral (SCVC), saco dorsal (ED) y saco ventral (SV).

2.3- Definición y clasificación de las proteínas de derivación

El concepto de proteína de derivación se basa en el principio de reducir la degradabilidad ruminal de la proteína, manteniendo al mismo tiempo la digestibilidad intestinal. Este enfoque permite una nutrición más precisa de aminoácidos y una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en el ganado lechero (Titze et ál., 2024), como se muestra en la ilustración 2.

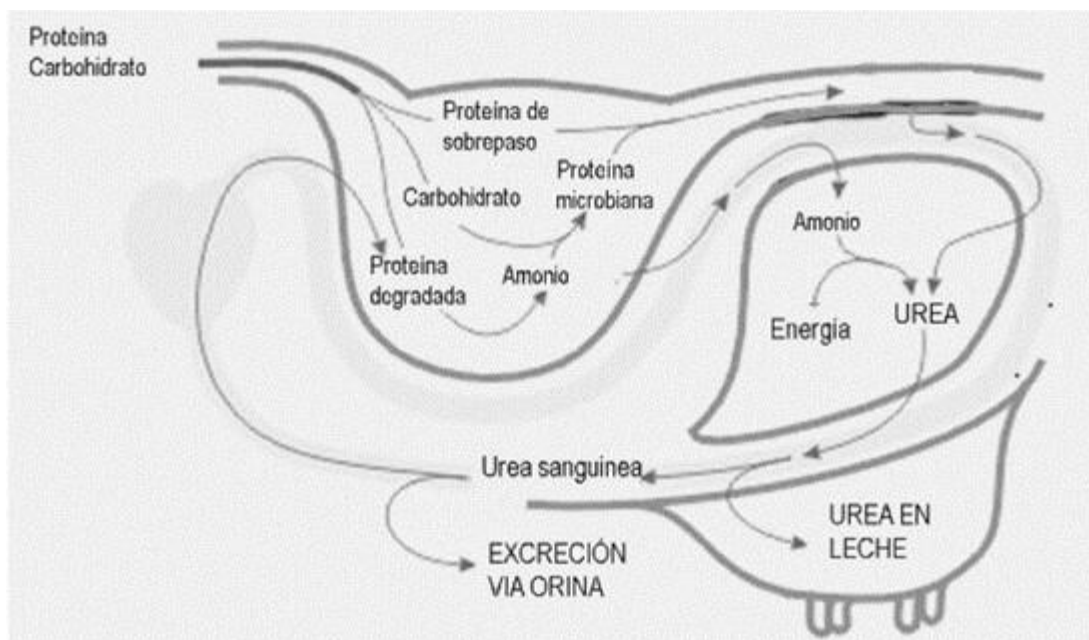


Ilustración 2 Microorganismos Ruminales, la Síntesis de Proteínas y el uso de proteínas de sobrepaso (INTAGRI, 2018).

Las investigaciones han identificado varias categorías distintas de proteínas de derivación según la metodología de protección:

Protección química

El tratamiento con formaldehído sigue siendo uno de los métodos de protección química más estudiados. Este enfoque implica la reticulación de la proteína cruda mediante el tratamiento con formaldehído, lo que aumenta eficazmente el flujo de RUP al duodeno. Múltiples ensayos de producción han demostrado la eficacia de las harinas proteicas tratadas con formaldehído para mejorar los parámetros de producción de leche (Mane et ál., 2016).

Protección física

El tratamiento térmico y la extrusión representan métodos físicos de protección de las proteínas. Estos procesos térmicos reducen la solubilidad de las proteínas en el rumen, a la vez que preservan la digestibilidad intestinal. Se ha demostrado que la extrusión reduce eficazmente la degradabilidad de la proteína cruda en diversas harinas de semillas oleaginosas (Titze et ál., 2024).

Tecnología de encapsulación

Los métodos de recubrimiento lipídico y encapsulación proporcionan barreras físicas que retardan la degradación de las proteínas ruminales. Estas tecnologías son particularmente eficaces para proteger aminoácidos individuales como la lisina y la metionina. Los suplementos de lisina y metionina protegidas han demostrado efectos significativos en los perfiles de aminoácidos plasmáticos y la producción de proteína láctea (Třináctý et ál., 2009).

Los productos de proteína de derivación modernos a menudo emplean múltiples estrategias de protección simultáneamente, combinando métodos químicos, físicos y de encapsulación para optimizar tanto el escape ruminal como la disponibilidad intestinal.

Tabla 1 Comparación de tipos

Tipo	Método de protección	Objetivos típicos	Evidencia clave
Comidas tratadas con formaldehído	Reticulación química de CP (formaldehído)	Aumentar el flujo de proteína no degradable en el rumen (RUP)	Utilizado con éxito en ensayos de producción y estudios de alimentación (Mane et ál., 2016).
Semillas oleaginosas tratadas térmicamente/extruidas	Procesamiento térmico para	Aumentar el RUP y proteger los PUFA	La extrusión reduce la degradabilidad de la PC en varias harinas de

	reducir la solubilidad		semillas oleaginosas (Griffiths, 2004).
Mezclas recubiertas de lípidos/derivadas	Recubrimiento de grasa o inerte para retardar el ataque del rumen	Proporcionar proteínas más energía (evitar la grasa)	El recubrimiento combinado con RUP mejoró la leche y la reproducción en ensayos (Sklan y Tinsky, 1993: Mane et ál., 2016).
Aminoácidos protegidos del rumen	Encapsulación /recubrimiento s entéricos de Lys, Met, His	Equilibrio correcto de AA absorbido (por ejemplo, Lys/Met)	Las tabletas o encapsulaciones de Lys/Met protegidas alteran el rendimiento plasmático de AA y proteína de la leche (Sklan y Tinsky, 1993: Seleem et ál., 2024).

2.4.1- Efectos sobre la producción y composición de la leche

Se ha demostrado en diferentes estudios, que la suplementación con PPR suele aumentar la producción de leche entre un 10% y un 21% en comparación con las dietas control (Chandrasekharaiah et ál., 2008: Mane et ál., 2016: Van Hese et ál., 2023).

En el estudio de Mane et ál., (2016), reportan que en vacas mestizas la suplementación combinada de proteína protegida y grasa de derivación aumentó la producción diaria promedio de leche en un 13-21% en comparación con los grupos de control, con mejoras significativas en el contenido de grasa de la leche, proteína, lactosa y sólidos totales.

Ensayos en granjas comerciales como el estudio de Chandrasekharaiah et ál., (2008), reporta un aumento de la proporción de concentrado RUP del 37% al 50% de proteína cruda como proteína no degradable aumentó el rendimiento de la leche

en aproximadamente 1,07 L/día al tiempo que mejoró el contenido de grasa de la leche, sólidos no grasos (SNF) y sólidos totales.

En el saco de lactancia temprana, la suplementación con torta de soya tratada térmicamente aumentó la producción de leche y el ingreso neto en vacas Jersey en lactancia temprana durante un período de prueba de 62 días (Tiwari et ál., 2018).

Respecto a los cambios en la composición de la leche, la suplementación con proteínas de sobrepaso afecta no sólo la cantidad de leche sino también los parámetros de calidad:

Třináčty et ál., (2009) y Seleen et ál., (2023) reportan un aumento en el contenido y la producción de proteína láctea tras la suplementación con RPP. Esta respuesta es particularmente pronunciada cuando se incluyen en la dieta lisina y metionina con protección ruminal.

La interacción entre la proteína de derivación y la suplementación de grasa a menudo resulta en un mejor contenido de grasa de la leche, aunque las respuestas varían dependiendo de la composición de la dieta basal y la estrategia de suplementación (Sklan y Tinsky 1993: Mane et ál., 2016).

En relación a lactosa y sólidos no grasos se han reportado mejoras consistentes en el contenido de lactosa y SNF, lo que contribuye a mejorar la calidad de la leche y las características de procesamiento (Chandrasekharaiah et ál., 2008).

Si bien la mayoría de los estudios reportan respuestas positivas a la suplementación con proteína de sobrepaso, algunos ensayos han mostrado efectos mínimos o no significativos (Hartati et ál., 2015). Esta variabilidad subraya la importancia de

considerar factores como: composición y calidad de la dieta basal, etapa de la lactancia, eficacia de protección del producto específico y diseño experimental.

2.4.2- Eficiencia alimentaria y utilización de nutrientes

Una de las principales ventajas de la tecnología de proteína de derivación es la mejora en la eficiencia de utilización del nitrógeno. Las investigaciones demuestran que la suplementación con RPP puede mejorar significativamente la conversión del nitrógeno dietético en proteína láctea, a la vez que reduce la excreción de nitrógeno en orina y heces (Seleen et ál., 2023; Nichols et ál., 2024).

Los mecanismos clave incluyen:

Reducción de la producción de amoníaco ruminal: al evitar la degradación ruminal, se convierte menos proteína de la dieta en amoníaco, lo que reduce las pérdidas de nitrógeno.

Equilibrio mejorado de aminoácidos: una mejor correspondencia entre los aminoácidos absorbidos y los requerimientos metabólicos mejora la eficiencia de la síntesis de proteínas.

Síntesis de proteínas microbianas mejorada: los niveles adecuados de RDP mantienen una fermentación ruminal óptima mientras que RUP proporciona aminoácidos adicionales.

Los sistemas de alimentación modernos priorizan la proteína metabolizable (PM) en lugar de la proteína cruda como parámetro principal para la nutrición proteica. La suplementación con proteína de derivación permite un aporte más preciso de PM, en particular en lo que respecta a los perfiles de aminoácidos esenciales.

Los avances recientes en modelos de aprendizaje automático han mejorado la predicción del suministro de PM a partir de varios ingredientes alimentarios, lo que permite una formulación más precisa de suplementos de proteínas de derivación (Singh y Singh, 2022).

Los efectos de la proteína de derivación sobre el consumo de alimento y la digestibilidad varían según el método de protección y la tasa de inclusión. Algunos estudios indican que el consumo de materia seca se mantiene o mejora con la suplementación con RPP, mientras que otros muestran efectos mínimos sobre los parámetros generales de digestibilidad (Hartati et ál., 2015).

2.4.3- Tasas óptimas de inclusión y estrategias de alimentación

La investigación ha establecido relaciones dosis-respuesta para diversos productos proteicos de derivación. En el caso de la lisina protegida en el rumen, los estudios indican que 30 g/día producen respuestas óptimas en la producción de proteína láctea, con rendimientos decrecientes a tasas de inclusión más altas (Třináctý et ál., 2009). El momento de la suplementación con proteína de sobrepaso influye significativamente en la magnitud de la respuesta:

Período de transición, la suplementación durante el período seco y el comienzo de la lactancia generalmente produce las respuestas más pronunciadas, ya que este período se caracteriza por un balance proteico negativo y un alto estrés metabólico (Van Hase et ál., 2023).

2.4.4- Consideraciones económicas

La evaluación económica de la suplementación con proteína de derivación debe considerar tanto los costos directos como las respuestas de producción. Autores han reportado rentabilidades económicas favorables. La suplementación con torta de soya tratada térmicamente aumentó los ingresos netos en las vacas Jersey durante la lactancia temprana (Tiwari et ál., 2018), el aumento de la proporción de RUP en los concentrados resultó en cambios positivos en los ingresos a nivel de explotación a pesar de los mayores costos de alimentación (Chandrasekharaiah et ál., 2008).



Ilustración 3 Factores clave que influyen en la viabilidad económica de la suplementación con proteínas de sobrepaso (Adaptado de Bales y Lock, 2024; Lee et ál., 2025)

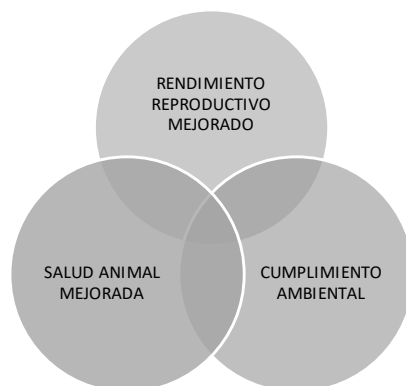


Ilustración 4 Beneficios económicos a largo plazo (Adaptado de Bales y Lock, 2024; Lee et ál., 2025)

La integración de la tecnología de proteínas de sobrepaso con enfoques de nutrición de precisión representa una importante oportunidad futura, como el monitoreo en tiempo real de los parámetros de producción para orientar las decisiones de suplementación y modelos avanzados para predecir estrategias óptimas de suplementación con proteínas de derivación (Singh y Singh, 2022).

III.- Conclusiones y recomendaciones

La tecnología de proteínas de derivación ofrece beneficios significativos para la nutrición y la producción del ganado lechero:

- Mejoras consistentes en el rendimiento de la leche (10-21%) y la composición en diversos sistemas de producción.
- Mayor eficiencia en el uso del nitrógeno y mejor suministro de proteínas metabolizables.
- Rentabilidad económica positiva en condiciones de mercado favorables.
- Potencial para reducir la contaminación por nitrógeno y mejorar la sostenibilidad.

IV.- Literatura citada

- Bales, A. M., & Lock, A. L. (2024). Effects of raw and roasted high oleic soybeans on milk production of high-producing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(12), 10869-10881.
- Chandrasekharaiah, M., Sampath, K. T., & Praveen, U. S. (2008). Effect of feeding bypass protein on milk production performance crossbred cow. *The Indian journal of animal sciences*, 78(5).
- Figuroa Viramontes, U., Núñez Hernández, G., Reta Sánchez, D. G., & Flores López, H. E. (2015). Balance regional de nitrógeno en el sistema de producción leche-forraje de la Comarca Lagunera, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 6(4), 377-392.
- Gómez, V. (2021). La industria lechera en México y en el mundo. En *SANFER Salud Animal*. Simposio internacional en calidad de leche. Ciudad de México, junio, 2021.
- Harfoot, C. G. (1981). Anatomy, physiology and microbiology of the ruminant digestive tract. *Lipid metabolism in ruminant animals*, 1-19.
- Hartati, L., Agus, A., Yusiati, LM y Widyobroto, BP (2015). Concentración de ácidos grasos libres y actividad de la carboximetilcelulosa en algunas fórmulas de proteínas grasas protegidas, analizadas in vitro. *Animal Production*, 17 (2), 92-96.
- INTAGRI. (2018). Microorganismos Ruminales, la Síntesis de Proteínas y el uso de proteínas de sobrepaso. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/microorganismos-ruminales-la-sintesis-de-proteinas-y-el-uso-de-proteinas>
- Krehbiel, C. R. (2014). "Invited review: Applied nutrition of ruminants: Fermentation and digestive physiology." *The Professional Animal Scientist* 30.2 129-139.
- Lee, M., Kim, D. H., Seo, S., & Tedeschi, L. O. (2025). Development of Machine Learning Models for Estimating Metabolizable Protein Supply from Feed in Lactating Dairy Cows. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 15(5), 687.
- Mane S. H., Fulpagare Y. G., Deokar D. K., Kankhare D. H. y Adangle S. A., (2016). "Rendimiento y composición de la leche en vacas mestizas según la influencia de la alimentación con proteínas y grasas protegidas del rumen", *Indian Journal of Animal Nutrition*, vol. 33, n.º 1.
- Nichols, K., Wever, N., Rolland, M., & Dijkstra, J. (2024). Effect of source and frequency of rumen-protected protein supplementation on mammary gland

- amino acid metabolism and nitrogen balance of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 107(9), 6797-6816.
- Rodriguez-Venegas, R., Meza-Herrera, C. A., Robles-Trillo, P. A., Angel-Garcia, O., Legarreta-Gonzalez, M. A., Sánchez-Vocanegra, H. F., & Rodriguez-Martinez, R. (2023). Effect of THI on Milk Production, Percentage of Milking Cows, and Time Lying in Holstein Cows in Northern-Arid Mexico. *Animals*, 13(10), 1715. <https://doi.org/10.3390/ani13101715>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader, 2018). *Crece la producción de leche en México: Sagarpa*. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/crece-la-produccion-de-leche-enmexico-sagarpa>
- Seleem, M. S., Wu, Z. H., Xing, C. Q., Zhang, Y., Hanigan, M. D., & Bu, D. P. (2024). Effects of rumen-encapsulated methionine and lysine supplementation and low dietary protein on nitrogen efficiency and lactation performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(4), 2087-2098.
- SIAP [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera]. (2013). Resumen Nacional Pecuário. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. Available at: <http://www.siap.gob.mx>.
- Singh, A. y Singh, P. (2022). "Tecnología de proteínas de derivación: una revisión", disponible en: <https://www.pashudhanpraharee.com/wp-content/uploads/2022/01/bypass-protein.pdf>
- Sklan, D. y Tinsky, M. (1993). "Respuestas de producción y reproducción de vacas lecheras alimentadas con proteínas no degradables variables recubiertas con grasa ruminal", *Journal of Dairy Science*. doi: 10.3168/JDS.S0022-0302(93)77340-3
- Soltis, MP, Moorey, SE, Egert-McLean, AM, Voy, BH, Shepherd, EA y Myer, PR. (2023). Regiones biogeográficas del rumen y variación del microbioma. *Microorganisms*, 11 (3), 747. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030747>
- Thakur, S., Dey, A., & Kumar, S. (2024). Rumen bypass protein: An effective technology for enhancing performance of ruminants. *Indian Journal of Animal Health*, 63, 43-52.
- Titze, N., Chi, Y. P., Haese, E., Hartung, J., & Rodehutsord, M. (2024). Linkage of in situ ruminal degradation of crude protein with ruminal degradation of amino acids and phytate from different soybean meals in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(4), 2011-2025.
- Tiwari, M. R., Jha, P. K., Pant, S. R., Acharya, M. P., Thapa, P., & Shrestha, B. K. (2018). Effect of bypass protein supplement on milk production in Jersey cow:

- Bypass protein supplementation in dairy cow. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 47(2), 98-104.
- Třináctý, J., Křížová, L., Richter, M., Černý, V., & Říha, J. (2009). Effect of rumen-protected methionine, lysine or both on milk production and plasma amino acids of high-yielding dairy cows. *Czech Journal of Animal Science*, 54(6), 239-248.
- Van Hese, I., Goossens, K., Vandaele, L., Ampe, B., Haegeman, A., & Opsomer, G. (2023). The effect of maternal supply of rumen-protected protein to Holstein Friesian cows during the dry period on the transfer of passive immunity and colostral microbial composition. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 8723-8745.
- Williams, A. G., & Coleman, G. S. (1992). Role of protozoa in the rumen. In *The rumen protozoa* (pp. 317-347). New York, NY: Springer New York.