

CALIDAD DE LECHE PRODUCIDA POR VACAS HOLSTEIN (*Bos taurus*) ALIMENTADAS CON SUPLEMENTO HIPERCALÓRICO EN EL ALTIPLANO SUDAMERICANO

Quality of milk produced by Holstein (*Bos taurus*) cows fed with a hypercaloric supplement in the South American Altiplano

Stefany Silvana Miqui Castro¹, Erik Bernardo Murillo Fernández², Garbay-Chávez Jhanina³, Rubén Tallacagua Terrazas⁴, William Claudio Choque Huarina⁵

Resumen

El presente estudio evaluó la influencia de la suplementación con grasas sobre la calidad de la leche en vacas Holstein en condiciones del Altiplano Norte de Bolivia, específicamente en la Estación Experimental Choquenaira. Esta región se caracteriza por un clima frío, baja disponibilidad de forrajes de calidad y restricciones nutricionales estacionales. Se aplicó un "Diseño de Cambio" (Cross-Over) con cuatro tratamientos dietéticos que incluían distintos niveles de grasa, además de un grupo control. Las variables analizadas fueron acidez, densidad, contenido de grasa, proteína, sólidos totales y sólidos no grasos, así como las propiedades sensoriales de la leche: color, olor, sabor y textura. Los resultados no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables de respuesta, manteniéndose dentro de rangos aceptables. Las características organolépticas tampoco presentaron alteraciones perceptibles para los evaluadores. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de la suplementación energética como estrategia en sistemas lecheros de altura, sin comprometer la calidad del producto final.

Palabras clave: leche, vacas Holstein, grasa en dieta, calidad fisicoquímica de leche, análisis sensorial de leche.

Abstract

This study evaluated the influence of fat supplementation on milk quality in Holstein cows under the conditions of the Northern Altiplano of Bolivia, specifically at the Choquenaira Experimental Station. This region is characterized by a cold climate, low availability of quality forage, and seasonal nutritional restrictions. A simple Cross-Over design was used with four dietary treatments that included different levels of fat, in addition to a control group. The variables analyzed were acidity, density, fat content, protein, total solids, and non-fat solids, as well as the sensory properties of the milk: color, odor, flavor, and texture. The results showed no statistically significant differences in most parameters, remaining within acceptable ranges. The organoleptic characteristics also showed no perceptible alterations for the evaluators. These findings support the viability of energy supplementation as a strategy in high-altitude dairy systems, without compromising the quality of the final product.

Keywords: milk, Holstein cows, dietary fat, physicochemical quality, sensory analysis.

1 Med. Vet. Zoot. titulada de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. Técnico de la Empresa Boliviana de Alimentos - EBA. ORCID: 0000-0003-1080-008X.

2 M.Sc. Ing. Agr., Docente Investigador del Centro Experimental Cota Cota e IAREN, Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. La Paz - Bolivia. ORCID: 0009-0004-2572-9217. emurillo@umsa.bo

3 Ph.D. Med. Vet. Zoot., Docente Investigador de la Estación Experimental de Choquenaira de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. La Paz - Bolivia. ORCID: 0000-0002-1075-4901

4 M.Sc. Ing. Agr., Docente Investigador Estación Experimental Patacamaya de la Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz - Bolivia. ORCID: 0009-0000-8792-

3841. rubentallacagua@gmail.com

5 Ing. Agr. Consultor Independiente. La Paz-Bolivia. ORCID: 0009-0005-3168-8201. claudiochok@gmail.com

INTRODUCCION

En zonas altoandinas como el Altiplano boliviano, la producción lechera enfrenta grandes limitaciones impuestas por el entorno climático, la estacionalidad forrajera y la calidad de los insumos disponibles. Las vacas Holstein, reconocidas por su alto rendimiento lácteo, presentan demandas nutricionales elevadas que rara vez pueden cubrirse solo con forraje de la zona. Ante este panorama, la suplementación hipercalórica se plantea como una estrategia para optimizar el balance energético, especialmente durante las etapas críticas de lactancia (Murillo y Pérez, 2023).

Estudios previos han señalado que la inclusión de lípidos en la dieta de rumiantes puede mejorar la densidad energética de las raciones y favorecer el rendimiento productivo (Palmquist, 2006; Bauman y Lock, 2018). No obstante, la respuesta fisiológica de los animales y la calidad final del producto lácteo pueden variar según la fuente lipídica, el nivel de inclusión y las condiciones del entorno (Chilliard et al., 2014).

En ese contexto, la investigación tiene la finalidad de evaluar la calidad de la leche producida por vacas Holstein sujetas a suplementación hipercalórica en la Estación Experimental Choquenaira (condiciones de altura y frío seco, característicos de la meseta del Altiplano Sudamericano) en busca de evidencia local que contribuya al diseño de estrategias alimenticias estratégicas para la zona.

MATERIALES Y METODOS

Localización

El trabajo se realizó en la Estación Experimental Choquenaira, ubicada a 3.870 m.s.n.m., en el municipio de Viacha (provincia Ingavi, La Paz, Bolivia). La estación forma parte de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés y cuenta con una infraestructura adaptada para investigación pecuaria. Las temperaturas promedio anuales rondan los 8.2 °C, con precipitaciones anuales de 560 mm, condiciones que limitan la producción vegetal.

Metodología

Se utilizaron cuatro vacas Holstein adultas (3–4 años), con promedios de peso de 450 kg y producción diaria de 16.5 litros. Las vacas recibieron una dieta base de pastoreo y forraje seco. Se aplicaron cuatro niveles de suplementación energética con un suplemento elaborado a base de afrecho de trigo, harina y torta de soya, manteca vegetal y sal mineral. El grupo control no recibió suplemento.

Diseño experimental

El diseño experimental que fue utilizado es de “Cross-Over” (Jones y Kenward, 2014) por el cual la aplicación de los tratamientos se realizó a cada una de las vacas en observación a través de la rotación de las unidades experimentales para 4 etapas, cada una de las etapas implicó una duración de 10 días, implicando ello también la aplicación de cada uno de los tratamientos a cada vaca parte del experimento. Se estableció fases de “lavado y acostumbramiento” entre tratamientos la cual fue de 4 días.

El modelo lineal aditivo corresponde a:

$$Y_{ij}(k) = \mu + V_i + S_j + T_k + E_{ij}(k)$$

Donde:

$Y_{ij}(k)$: Resultado de cada observación

μ : Promedio general

V_i : Efecto de la vaca en estudio i

S_j : Efecto de la secuencia j

T_k : Efecto del tratamiento k (dosis hipercalórica)

$E_{ij}(k)$: Efecto del Error experimental

La distribución de tratamientos, secuencias y vacas fue la siguiente:

Secuencia/ Tratamiento	T1	T2	T3	T4
S1	V1 722	V2 714	V3 728	V4 746
S2	V2 714	V3 728	V4 746	V1 722
S3	V3 728	V4 746	V1 722	V2 714
S4	V4 746	V1 722	V2 714	V3 728

Donde:

Sn: Secuencia *n*

Vn : Vaca número *n*

Tn: Tratamiento *n*

Suplementación hipercalórica

La suplementación se realizó diariamente en horario de ordeña (05:30 am y 15:00) a través de la provisión de los insumos alimenticios debidamente mezclados y dispuestos en un comedero móvil el cual se ponía a disposición ordenadamente para cada vaca correspondiente con apoyo técnico que garantizó el consumo total del suplemento, lo cual no constituyó ningún óbice dada la alta palatabilidad del mismo.

Tratamientos en estudio

Los componentes y niveles nutricionales de los suplementos para cada tratamiento se describen

en la Tabla 1.

Toma de muestras

Las jornadas de muestreo se llevaron a cabo durante los dos ordeños del día programado (último día de cada secuencia) a las 05:00 am y 15:00 horas. Tras realizar el despunte y la desinfección de los pezones en cada unidad animal, se procedió a la recolección de un litro de leche por animal en botellas de vidrio previamente esterilizadas y etiquetadas. Este procedimiento se repitió rigurosamente en ambos turnos para asegurar la representatividad de la muestra, garantizando que el volumen final reflejara las variaciones fisicoquímicas naturales entre el ordeño matutino y el vespertino.

Para asegurar la integridad biológica de las muestras, las botellas fueron selladas y mantenidas bajo cadena de frío estricta (4°C a 7°C), evitando así la proliferación bacteriana y la alteración de

Tabla 1.
Tratamientos en estudio

Nutriente	Unidad	HIS	AT	MV	SM	C
Tratamiento Control		0.4	0.8	0	0.03	0.01
EM	Mcal	1.90	1.97	0.00	0.00	0.00
Proteína	g	160.00	134.53	0.00	0.00	0.00
Fibra cruda	g	31.11	89.69	0.00	0.00	0.00
Calcio	g	1.16	1.17	0.00	6.00	2.90
Fósforo	g	2.84	8.88	0.00	3.00	0.80
Tratamiento 1		0.7	0.6	0.06	0.03	0.01
EM	Mcal	3.32	1.48	0.60	0.00	0.00
Proteína	g	280.00	100.90	0.00	0.00	0.00
Fibra cruda	g	54.44	67.26	0.00	0.00	0.00
Calcio	g	2.02	0.87	0.00	6.00	2.90
Fósforo	g	4.98	6.66	0.00	3.00	0.80
Tratamiento 2		0.95	0.5	0.1	0.03	0.01
EM	Mcal	4.51	1.23	1.00	0.00	0.00
Proteína	g	380.00	84.08	0.00	0.00	0.00
Fibra cruda	g	73.89	560.50	0.00	0.00	0.00
Calcio	g	2.74	0.73	0.00	6.00	2.90
Fósforo	g	6.76	5.55	0.00	3.00	0.80
Tratamiento 3		1.1	0.6	0.15	0.03	0.01
EM	Mcal	5.22	1.48	1.50	0.00	0.00

Nota. Abreviaturas: HIS Harina Integral de Soya. AT Afrecho de Trigo. MV Manteca Vegetal. SM Sales Minerales. C Componentes con Calcio.

la acidez. El transporte y la entrega se realizaron en un plazo menor a 24 horas en el Laboratorio de Alimentos y Bebidas del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz. Al momento de la entrega de cada muestra, estas se acompañaron con su respectiva ficha técnica, detallando la identificación del predio y del animal, las horas de ordeño y la temperatura registrada durante el traslado.

Análisis estadístico

Se aplicó análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5% utilizando el software InfoStat. Se verificó normalidad y homogeneidad de varianzas.

Variabes de respuesta

Las variables fisicoquímicas de la leche fueron: acidez, densidad, grasa, proteína, sólidos totales y sólidos no grasos. Las características organolépticas evaluadas fueron: Color, Olor, Sabor y Aspecto.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados indican que la inclusión de grasa en la dieta no generó variaciones significativas en los parámetros fisicoquímicos de la leche. Tanto la acidez como la densidad permanecieron dentro de los rangos exigidos por la normativa nacional. Asimismo, el contenido de grasa y proteína en la leche no presentó cambios sustanciales entre tratamientos, lo que respalda la hipótesis de que la homeostasis ruminal permite compensar la carga lipídica sin alterar el metabolismo general.

Las siguientes tablas muestran los resultados del análisis de varianza para las variables fisicoquímicas de la leche.

Acidez

El análisis de varianza para la variable acidez (Tabla 2), señala que la misma no es significativa para las fuentes de variación: tratamiento (P=0.7220), vaca (P=0.3977) y secuencia (P=0.2924); lo que implica que no existe diferencias significativas originadas por estas fuentes.

Tabla 2.
Análisis de varianza para la variable de acidez (%)

F.V.	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	0.01	9	0.75	1.06	0.4886
Secuencia	0.33	3	0.11	1.57	0.2924
Vaca	0.25	3	0.82	1.17	0.3977
Tratamiento	0.97	3	0.32	0.46	0.7220
Error	0.42	6	0.71		
Total	0.01	15			

Nota. F.V. = fuentes de variación, SC = suma de cuadrados, GL = grados de libertad, CM = cuadrados medios, F = valor de tabla, p-valor = Valor de Probabilidad que las diferencias observadas se deban al azar.

Densidad

El análisis de varianza para la variable densidad (g/cc) (Tabla 3), establece que la misma no es significativa para las fuentes de variación: tratamiento (P=0.5497), secuencia (P=0.4852) y vaca (P=0.0880) implicando la inexistencia de diferencias significativas en cada caso.

Tabla 3.
Análisis de varianza para la variable densidad (g/cc)

F.V.	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	0.11	9	0.12	1.74	0.2570
Secuencia	0.19	3	0.64	0.92	0.4872
Vaca	0.74	3	0.25	3.54	0.0880
Tratamiento	0.16	3	0.54	0.77	0.5497
Error	0.42	6	0.70		
Total	0.15	15			

Nota. F.V. = fuentes de variación, SC = suma de cuadrados, GL = grados de libertad, CM = cuadrados medios, F = valor de tabla, p-valor = Valor de Probabilidad que las diferencias observadas se deban al azar.

Diversos factores pueden afectar la densidad de la leche, como su composición química, la temperatura en el momento de la medición y la de almacenamiento, el tiempo que ha pasado desde el ordeño, el ordeño fraccionado, la centrifugación, entre otros procesos tecnológicos (Fox et al., 2015). De hecho, la densidad de la leche no solo depende de la temperatura en el momento de la medición, sino también de las temperaturas a las que estuvo expuesta anteriormente. En general, la densidad

de la leche es más baja justo después del ordeño y aumenta gradualmente con el tiempo (Jensen, 1995).

Contenido de grasa

El análisis de varianza para la variable contenido de grasa (Tabla 4), establece nuevamente la inexistencia de diferencias significativas para todas las fuentes de variación en estudio: Vaca (P=0.9795), tratamiento (P=0.7157) y secuencia (P=0.4132).

Tabla 4.
Análisis de varianza para la variable contenido de grasa (%)

F.V.	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	0.32	9	0.04	0.55	0.7997
Secuencia	0.22	3	0.07	1.12	0.4132
Vaca	0.01	3	0.38	0.06	0.9795
Tratamiento	0.09	3	0.03	0.47	0.7157
Error	0.39	6	0.06		
Total	0.71	15			

Nota. F.V. = fuentes de variación, SC = suma de cuadrados, GL = grados de libertad, CM = cuadrados medios, F = valor de tabla, p-valor = Valor de Probabilidad que las diferencias observadas se deban al azar.

De acuerdo a Bachman (1994), agregar grasas a la dieta en un 5–6% de la materia seca puede aumentar la producción de leche y el consumo de energía, aunque su efecto sobre el porcentaje de grasa láctea es variable. Las grasas saturadas elevan ligeramente ese porcentaje, mientras que las insaturadas o el exceso de cualquier grasa pueden reducirlo hasta en un 1% (aunque la producción total de grasa se mantiene o aumenta). Esto ocurre porque las grasas, especialmente las insaturadas, interfieren con la fermentación ruminal y reducen la producción de acetato; además, los aceites aumentan los ácidos grasos trans, lo que también disminuye el porcentaje de grasa en leche.

Contenido de proteína

El análisis de varianza para la variable contenido de proteína (Tabla 5), establece que la misma no tiene diferencia significativa para la fuente tratamiento (P=0.3993). por otra parte, las fuentes de variación

Tabla 5.
Análisis de varianza para la variable contenido de proteína (%)

F.V.	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	0.89	9	0.10	6.31	0.0181
Secuencia	0.57	3	0.19	12.19	0.0058
Vaca	0.26	3	0.09	5.59	0.0359
Tratamiento	0.05	3	0.02	1.16	0.3993
Error	0.09	6	0.02		
Total	0.98	15			

Nota. F.V. = fuentes de variación, SC = suma de cuadrados, GL = grados de libertad, CM = cuadrados medios, F = valor de tabla, p-valor = Valor de Probabilidad que las diferencias observadas se deban al azar.

que si reportan diferencias son: vaca (P=0.0359) y secuencia (P=0.0058). Para maximizar la capacidad de síntesis proteica de la glándula mamaria, es fundamental optimizar el suministro de aminoácidos en la dieta. Lisina y metionina son, generalmente, los primeros y segundos aminoácidos limitantes en la producción de proteínas lácteas (NRC, 2001; Hristov et al., 2019). Este enfoque está en línea con la Ley de Liebig, que afirma que el elemento esencial que esté en menor cantidad es el que limita el rendimiento final (Albanell, 2015). En este contexto, una suplementación excesiva de grasa no impactaría directamente en la síntesis proteica, ya que no proporciona aminoácidos o glucosa, que son precursores esenciales de las proteínas lácteas (Fox et al., 2015).

Contenido de sólidos totales

El Análisis de Varianza para la variable contenido de sólidos totales (Tabla 6), determina que los resultados de la misma no tienen diferencia significativa para la fuente tratamiento (P=0.6502). Por otra parte, las fuentes de variación que si reportan diferencias son: Vaca (P=0.0104) y secuencia (P=0.0065).

En consonancia con las afirmaciones de Campabadal (1999) y Schmidt y Van Vleck (1976), se observa que la grasa adicionada a la dieta es degradada en un 98% mediante hidrólisis, transformándose en ácidos grasos y glicerol, los cuales, transportados por el torrente sanguíneo,

llegan a la glándula mamaria. En esta glándula, los sólidos de la leche se sintetizan a partir de diversos productos metabólicos, por lo que la suplementación con grasa (si no es grasa sobrepasante de rumen) no tiene un efecto directo en la composición de los sólidos totales de la leche.

Tabla 6.
Análisis de varianza para la variable contenido de sólidos totales (%)

F.V.	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	20.84	9	2.32	7.29	0.0126
Secuencia	11.10	3	3.70	11.65	0.0065
Vaca	9.18	3	3.06	9.63	0.0104
Tratamiento	0.55	3	0.18	0.58	0.6502
Error	1.91	6	0.32		
Total	22.74	15			

Nota. F.V. = fuentes de variación, SC = suma de cuadrados, GL = grados de libertad, CM = cuadrados medios, F = valor de tabla, p-valor = Valor de Probabilidad que las diferencias observadas se deban al azar.

Contenido de sólidos no grasos (SNG)

El Análisis de Varianza para la variable contenido de sólidos no grasos (Tabla 7), establece que no existe diferencia significativa para la fuente tratamiento (P=0.7897). En otro sentido, se establece diferencias significativas en los resultados vinculados a las fuentes de variación: Vaca (P=0.0180) y secuencia (P=0.0152).

La cantidad de SNG puede variar dependiendo de varios factores, como la raza de la vaca y la etapa de lactancia. Los SNG son importantes para la industria láctea y contribuyen a la textura y valor nutricional de los productos lácteos. Diversos estudios han documentado el impacto de la alimentación en la composición de los sólidos no grasos (SNG) de la leche de vaca, confirmando que la dieta tiene un papel clave en la variabilidad de estos componentes. Según Cant et al. (2018), la calidad de los forrajes y concentrados que consumen las vacas influye directamente en la cantidad de SNG en la leche, ya que los nutrientes de la dieta afectan los niveles

de proteínas, lactosa y minerales. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Barbanco y Lynch (2007), quienes encontraron que una dieta rica en proteínas y energía se asocia con un aumento en los SNG, optimizando así el contenido nutricional de la leche. Además de la alimentación, factores como la raza de la vaca y la etapa de lactancia también contribuyen a la variabilidad en los niveles de SNG. Kaylegian y Lindsay (2008) observaron que las razas con mayor producción láctea, como las Holstein, tienden a presentar una menor concentración de SNG en comparación con razas menos productivas. Por otro lado, Linn et al. (2019) demostraron que, durante las primeras etapas de lactancia, los SNG suelen ser más elevados, disminuyendo gradualmente conforme la lactancia progresa, lo cual sugiere una influencia fisiológica en la composición de la leche.

Tabla 7.
Análisis de varianza para la variable contenido de sólidos no grasos (%)

F.V.	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	20.71	9	2.30	5.39	0.0265
Secuencia	10.50	3	3.50	8.20	0.0152
Vaca	9.76	3	3.25	7.62	0.0180
Tratamiento	0.45	3	0.15	0.35	0.7897
Error	2.56	6	0.43		
Total	23.27	15			

Nota. F.V. = fuentes de variación, SC = suma de cuadrados, GL = grados de libertad, CM = cuadrados medios, F = valor de tabla, p-valor = Valor de Probabilidad que las diferencias observadas se deban al azar.

Características organolépticas

En cuanto a las características organolépticas, no se detectaron diferencias sensoriales entre las muestras. La leche mantenía color blanco cremoso, olor y sabor característico, y una textura homogénea. Estos resultados muestran que el suplemento hipercalórico no tuvo efectos negativos sobre la aceptabilidad del producto.

Los resultados de las características organolépticas de la leche se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 8.
Características organolépticas promedio de la leche

Parámetros	Muestra de leche Vaca 722	Muestra de leche Vaca 714	Muestra de leche Vaca 728	Muestra de leche Vaca 714
Color	blanco cremoso	blanco cremoso	blanco cremoso	blanco cremoso
Olor	característico	característico	característico	característico
Sabor	poco dulce, agradable	poco dulce, agradable	poco dulce, agradable	poco dulce, agradable
Aspecto	líquido homogéneo	líquido homogéneo	líquido homogéneo	líquido homogéneo

Desde una perspectiva técnica, los resultados permiten validar la suplementación energética como una herramienta útil para enfrentar las limitaciones del sistema forrajero del Altiplano, sin riesgos para la calidad del producto. Desde una perspectiva práctica, el estudio ofrece una alternativa viable para pequeños y medianos productores de leche en regiones de altura.

El uso de grasas en dietas para rumiantes ha sido ampliamente documentado como una estrategia para elevar el contenido energético sin aumentar el riesgo de acidosis ruminal. Sin embargo, su impacto sobre la calidad de la leche puede variar. Algunos estudios han mostrado mejoras en la concentración de grasa en leche (Palmquist, 2006), mientras que otros, como Chilliard et al. (2014), resaltan la importancia de la fuente de grasa utilizada.

En este trabajo, el suplemento formulado localmente no alteró la composición fisicoquímica de la leche, lo cual podría explicarse por la buena capacidad de adaptación metabólica de las vacas Holstein. La estabilidad en las variables sugiere que los niveles de inclusión de grasa fueron adecuados para evitar desbalances metabólicos, reforzando lo descrito por Weiss y Wyatt (2000) sobre los efectos neutros de las grasas protegidas en condiciones controladas. Las características organolépticas, cruciales para la aceptación del consumidor, tampoco se vieron comprometidas.

CONCLUSIONES

La suplementación hipercalórica en vacas Holstein no afectó significativamente la calidad fisicoquímica ni sensorial de la leche. La acidez, densidad, grasa, proteína y sólidos totales se mantuvieron en

rangos aceptables basados en la Norma Boliviana NB 228 a 232 (IBNORCA, 2014). Las características organolépticas fueron bien aceptadas, sin alteraciones percibidas por los evaluadores. La estrategia evaluada es viable para contextos con escasa disponibilidad forrajera, como el Altiplano boliviano. Se recomienda ampliar el estudio al uso de grasas sobrepasantes como una forma de fortalecer el estado corporal de las vacas antes de la entrada a la época de estiaje, invierno o fría en la zona estudiada (Altiplano boliviano con aproximadamente 3850 m.s.n.m.) y su efecto en la habitual disminución de producción de leche en la mencionada época.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albanell, E. (2015). Nutrición y alimentación animal. Ediciones Diaz de Santos. <https://www.uab.cat/es/ciencia-animal-alimentos/alimentacion-nutricion-animal>
- Bachman, K.(1994). Managing milk composition. University of Florida, Dairy Report. E.U. 336-346 p. <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/KC-Bachman-38244733>
- Barbano, D. M., & Lynch, J. M. (2006). Major advances in testing of dairy products: Milk component and dairy product attribute testing. Journal of Dairy Science, Volume 89, Issue 4, April 2006, Pages 1189-1194. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030206721889>
- Bauman, D. E., & Lock, A. L. (2006). Concepts in Lipid Digestion and Metabolism in Dairy Cows. Department of Animal Science. Cornell University. <https://d1wqtxts1x-zle7.cloudfront.net/118545349/Bauman-libre.pdf?1727705285=&response->
- Campabadal, C. (1999). Factores que influyen en la composición

- de los sólidos de la leche. Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, ISSN-e 2215-3527, Vol. 5, N°. 1, 1999, págs. 67-92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5166258>
- Cant, J. P., Trout, D. R., & DePeters, E. J. (2018). Feeding management to enhance milk components. *Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference*, 125-136. <https://viewer.joomag.com/2018-tri-state-dairy-nutrition-conference-2018-tsdnc-proceedings/0583138001523817777/p1?short=>
- Chilliard Y., Toral P.G., Shingfield K.J., Rouel J., Leroux C. & Bernard L. (2014). Effects of diet and physiological factors on milk fat synthesis, milk fat composition and lipolysis in the goat: A short review. *Elsevier Science, Small Ruminant Research*, Volume 122, Issues 1–3, November 2014, Pages 31-37. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921448814002247>
- Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2015). *Dairy Chemistry and Biochemistry*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-14892-2>
- Jensen, R. G. (1995). *Handbook of Milk Composition (Manual de composición de la leche)*: Food Science and Technology. Elsevier Science, Oct 10, 1995 - Health & Fitness - 919 pages. https://books.google.com/books/about/Handbook_of_Milk_Composition.html?id=j5VuqOT7oIIC&hl=en&redir_esc=y#:~:text=Robert%20G..of%20commercial%20formulas%2C%20and%20contaminants
- Jones, B., & Kenward, M. G. (2014). *Design and Analysis of Cross-Over Trials (3rd ed.)*. CRC Press/Taylor & Francis. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b17537/design-analysis-cross-trials-michael-kenward-byron-jones>
- K.E. Kaylegian K., Dwyer D., Lynch J., Bauman D., Flemming J. & Barbano D. (2009) Impact of fatty acid composition on the accuracy of mid-infrared fat analysis of farm milks. *Elsevier Science, Journal of Dairy Science*, Volume 92, Issue 6, June 2009, Pages 2502-2513. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030209705648>
- Linn, J. G., Freeman, M. E., & Otterby, D. E. (2019). Factors affecting solids-non-fat, protein and casein in milk. *Minnesota Dairy Report*, 34, 120-128.
- Murillo E., & Perez C. (2023). Proyecto de Mecanización Integral de la Estación Experimental de Choquenaira. EECH, Facultad de Agronomía; Universidad Mayor de San Andrés. https://medium.com/@emurillo_88775/https-drive-google-com-file-d-118m0hgy7ebggais8b-gueo-qpgb-ijju-view-usp-drive-link-e73cc032aef8
- NRC. (2021). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academies Press. <https://www.nationalacademies.org/projects/DELS-BANR-13-02/publication/25806>
- National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*, 2001. National Academies Press. <https://quelpdhmcp.ca/wp-content/uploads/2018/03/NRC-2001.pdf>
- Palmquist, D. L., Stelwagen K. & Robinson P. (2006). Modifying milk composition to increase use of dairy products in healthy diets. *Elsevier Science, Animal Feed Science and Technology*, Volume 131, Issues 3–4, 15 December 2006, Pages 149-153. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840106002586>
- SENASAG. (2021). Normativa boliviana sobre calidad de leche. <https://es.scribd.com/document/115732010/Reglamento-de-Inspeccion-Leche-y-Derivados>
- Schmidt, G. H., & Van Vleck, L. D. (1976). Influencia del número de lactancia en la producción y composición de la leche. *Journal of Dairy Science*, 59(5), 881-886. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(76\)84484-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84484-3)
- Weiss, W. P., & Wyatt, D. J. (2000). Effect of Oil Content and Kernel Processing of Corn Silage on Digestibility and Milk Production by Dairy Cows. *Elsevier Science, Journal of Dairy Science*, Volume 83, Issue 2, February 2000, Pages 351-358. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030200748867>

Artículo recibido en: 20 de abril del 2026

Aceptado en: 27 de abril del 2026