

Sustitución parcial del concentrado por ensilajes de residuos de maíz y quinua en vacas Holstein

Partial replacement of concentrate with corn and quinoa residue silages in Holstein cows

Guillermo Dávalos Merino¹, Julio Bravo¹

Cita:

Dávalos Merino, G., y Bravo, J. (2026). Sustitución parcial del concentrado por ensilajes de residuos de maíz y quinua en vacas Holstein. *TESLA Revista Científica*, 6(1), e701. <https://doi.org/10.55204/trc.v6i1.e701>

Recibido: 04/04/2026

Revisado: 10/04/2026 al 13/04/2026

Corregido: 22/04/2026

Aceptado: 01/05/2026

Publicado: 12/05/2026

Licencia:

Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

¹Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Panamericana Sur km 1 1/2, Riobamba, 060155, Ecuador.

¹eduardo.davalos@esepoch.edu.ec; ²cesar.bravo@esepoch.edu.ec

¹ORCID: 0000-0003-2347-8632; ²ORCID: 0009-0004-5764-0532

Resumen: Introducción: Los concentrados comerciales elevan los costos de los sistemas lecheros pastoriles; los residuos agrícolas ensilados pueden aportar suplementos locales. **Objetivo:** Evaluar el desempeño productivo y el costo directo de tres estrategias de suplementación en vacas Holstein bajo pastoreo rotativo altoandino. **Métodos:** Nueve vacas en lactancia temprana se bloquearon por número de lactancias. Durante 28 días recibieron S1: 4 kg de concentrado/vaca/día; S2: 1,5 kg de concentrado y 10 kg de ensilaje de calcha de maíz; o S3: 1,5 kg de concentrado, 8 kg de ensilaje de calcha de maíz y 2 kg de ensilaje de rastrojo de quinua. Se evaluaron leche, peso, condición corporal y costo mediante ANOVA y Tukey al 5 %. **Resultados:** No se detectaron diferencias en producción acumulada por vaca ($p = 0,1255$), grasa, proteína, peso ni condición corporal. La producción fue 509,17; 553,17 y 630,50 kg/vaca, y el costo de suplemento por kilogramo de leche, con precios de 2016, fue USD 0,117; 0,060 y 0,052 para S1, S2 y S3. **Conclusiones:** Las estrategias con ensilajes redujeron el concentrado y el costo directo sin diferencias productivas detectables; el tamaño muestral no permite concluir equivalencia entre dietas.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa*; ensilaje; nutrición de rumiantes; producción de leche; residuos agrícolas; *Zea mays*.

Abstract: Introduction: Commercial concentrates increase feeding costs in pasture-based dairy systems, whereas ensiled crop residues may provide local supplements. **Objective:** To evaluate productive performance and direct supplementation cost under three feeding strategies in Holstein cows managed in a high-Andean rotational grazing system. **Methods:** Nine early-lactation cows were blocked by parity. For 28 days they received S1: 4 kg concentrate/cow/day; S2: 1.5 kg concentrate plus 10 kg corn-stover silage; or S3: 1.5 kg concentrate, 8 kg corn-stover silage and 2 kg quinoa-residue silage. Milk yield and composition, body weight, body condition score and supplementation cost were evaluated using ANOVA and Tukey's test at 5 %. **Results:** No differences were detected in accumulated milk yield per cow ($p = 0.1255$), milk fat, milk protein, body weight or body condition score. Accumulated yields were 509.17, 553.17 and 630.50 kg/cow, and supplementation costs per kilogram of milk at 2016 prices were USD 0.117, 0.060 and 0.052 for S1, S2 and S3. **Conclusions:** Silage-based strategies reduced concentrate use and direct supplementation cost without detectable productive differences; the sample size does not support a conclusion of dietary equivalence.

Keywords: *agricultural residues*; *Chenopodium quinoa*; *dairy production*; *ruminant nutrition*; *silage*; *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche mantiene una función estratégica en la agricultura ecuatoriana por su aporte al abastecimiento alimentario, al empleo rural y a los ingresos de explotaciones familiares. La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua registró en 2025 una producción nacional diaria de 5.153.121 litros; la región Sierra concentró 4.029.739 litros, equivalentes al 78,2 % del total, y alcanzó el mayor rendimiento regional, con 8,7 litros por vaca ordeñada (INEC, 2025). Estas cifras confirman la relevancia de los sistemas lecheros serranos y la necesidad de estrategias alimentarias compatibles con su disponibilidad de forraje, su estructura de costos y sus condiciones climáticas.

En los sistemas pastoriles, el suplemento puede cubrir déficits de energía o proteína, sostener la producción durante periodos de menor oferta y aumentar la carga animal. Sin embargo, su respuesta depende de la calidad y asignación de la pastura, el nivel de concentrado, el estado fisiológico y la tasa de sustitución del forraje. La revisión de Bargo et al. (2003) mostró que la reducción del consumo de pasto por cada kilogramo de suplemento explica parte importante de la variación en la respuesta lechera. Estudios regionales posteriores también indican que mayores niveles de concentrado no producen necesariamente incrementos proporcionales en leche ni una mejor rentabilidad (Albarrán-Portillo et al., 2019; Esparza-Jiménez et al., 2021). En explotaciones comerciales pastoriles, la suplementación con concentrado se asoció con mayor producción de leche y menor intensidad de emisiones predichas; al tratarse de un análisis observacional y modelado, el resultado no establece causalidad ni un nivel económicamente óptimo (Dida et al., 2024).

El uso de forrajes conservados y residuos agrícolas constituye una alternativa para disminuir la dependencia de ingredientes comerciales. El ensilaje estabiliza biomasa estacional mediante fermentación anaerobia, aunque su valor depende del contenido de materia seca, la disponibilidad de carbohidratos fermentables, la acidificación y la estabilidad aeróbica (Kung et al., 2018; Muck et al., 2018). En vacas en pastoreo, el orden de suministro de pasto y ensilaje de maíz puede modificar la producción, el comportamiento ingestivo y la partición del nitrógeno (Beltrán et al., 2019). De forma complementaria, el momento de entrega del concentrado puede modificar la respuesta individual y la producción por hectárea (Castro-Jaime et al., 2024). Otros ensayos muestran que fuentes alternativas de suplemento pueden mantener la producción y la composición de la leche cuando la dieta total conserva un aporte adecuado de nutrientes (Aleixo et al., 2022; Pulido et al., 2024).

La calcha de maíz representa una fracción fibrosa disponible después de la cosecha. Su aprovechamiento como ensilaje puede liberar grano para otros usos y reducir costos, aunque su menor densidad energética exige combinarla con fuentes complementarias. Un modelo de optimización para fincas lecheras mostró que la inclusión de ensilaje de rastrojo de maíz puede mejorar el beneficio cuando la proporción se ajusta al nivel productivo y al resto de la dieta (He et al., 2021). Por tanto, su utilización debe evaluarse no solo por la producción individual, sino también por el costo por unidad de leche y el uso eficiente de recursos locales.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), cultivo de origen andino, posee interés adicional por el valor nutritivo y la variabilidad de su biomasa forrajera. Existe variabilidad entre genotipos en rendimiento forrajero, proteína y fracciones de fibra (Shah et al., 2020). Ensayos de fermentación ruminal, producción de gas y degradabilidad in situ han confirmado su potencial como alimento no convencional para rumiantes (Abarghuei y Boostani, 2025), mientras que estudios de ensilaje de planta completa demuestran que la variedad, el momento de cosecha y la comunidad bacteriana condicionan la calidad fermentativa e higiénica (Fang et al., 2025). La mezcla de quinua con maíz puede favorecer una fermentación más estable cuando se seleccionan proporciones e inoculantes apropiados (He et al., 2025). No obstante, la mayoría de esa evidencia corresponde a planta completa o evaluaciones in vitro, y continúa siendo limitada la información sobre rastrojo poscosecha de quinua en vacas lecheras bajo pastoreo de altura.

En este contexto, el objetivo fue evaluar el desempeño productivo y el costo de tres estrategias de suplementación en vacas Holstein bajo pastoreo rotativo altoandino, comparando concentrado comercial, ensilaje de calcha de maíz y una mezcla de ensilajes de calcha de maíz y rastrojo de quinua. Se planteó que el reemplazo parcial del concentrado permitiría mantener la producción y composición de la leche, el peso vivo y la condición corporal, con un menor costo de suplementación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de los datos y lugar del estudio

El artículo se elaboró a partir del estudio experimental documentado en la tesis de grado de Dávalos Merino (2016). El ensayo se realizó en la Hacienda Lechera El Encanto, parroquia Cebadas, cantón Guamote, provincia de Chimborazo, Ecuador (latitud $-2,16678$, longitud $-78,5166$), entre 3270 y 3400 m s. n. m. La zona presentó una temperatura media de $12,6^{\circ}\text{C}$ y una precipitación anual aproximada de 1298 mm. La pradera, de suelo franco, estuvo compuesta por 50 % de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*, citado en la tesis como *Pennisetum clandestinum*), 30 % de pasto azul (*Dactylis glomerata*) y 20 % de trébol blanco (*Trifolium repens*).

Animales, diseño y manejo

Se utilizaron nueve vacas Holstein Friesian en el primer tercio de lactancia. A partir de los registros individuales de la tesis, el peso vivo inicial medio fue 478,16 kg y la condición corporal media 2,17 puntos (escala de 1 a 5). Los animales fueron agrupados en tres bloques según el número de lactancias y tuvieron siete días de adaptación. El periodo experimental fue de 28 días. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres animales por tratamiento. Todas las vacas pastorearon nueve horas al día y recibieron 120 g de sales minerales por día.

Tabla 1**Estrategias de suplementación evaluadas durante 28 días**

Trat.	Descripción diaria	Vacas	MS del suplemento (kg/d)	PC del suplemento (kg/d)
S1	Pastoreo + 4 kg de concentrado.	3	3,48	0,640
S2	Pastoreo + 1,5 kg de concentrado + 10 kg de ensilaje de calcha de maíz.	3	3,02	0,511
S3	Pastoreo + 1,5 kg de concentrado + 8 kg de ensilaje de calcha de maíz + 2 kg de ensilaje de rastrojo de quinua.	3	3,74	0,580

Nota: MS: materia seca; PC: proteína cruda. Los aportes son estimaciones derivadas de las dosis y de los porcentajes reportados, no nuevas determinaciones analíticas. Las dosis diarias se tomaron de la tabla metodológica y se comprobaron con las cantidades totales de costos (840 kg en S2; 672 + 168 kg en S3). El resumen de la tesis consigna 4 + 2 kg para S3, mientras que la tabla metodológica y los costos confirman 8 + 2 kg. Las notas de resultados muestran 5 kg en S2 y 4 + 1 kg en S3, compatibles con medias dosis, pero la distribución intradía no quedó documentada de manera inequívoca.

Elaboración y caracterización de suplementos

La calcha de maíz se picó a 3 cm, se ensiló mediante un equipo Silo Pack J-401 y se abrió después de 50 días. El rastrojo de quinua procedente de la trilla también se picó a 3 cm y se ensiló en bolsas de 30 kg; por bolsa se añadieron 1,5 L de melaza, 1,5 L de agua, 1 L de ácido láctico y 2 kg de residuos de frutas, y el material se abrió a los 50 días. Para el concentrado comercial se utilizó la composición declarada por el fabricante (16 % de proteína cruda); los ensilajes y la pradera fueron caracterizados mediante materia seca, proteína cruda, grasa, fibra cruda, cenizas y materia orgánica. La información disponible no incluyó un perfil completo de ácidos orgánicos, nitrógeno amoniacal ni estabilidad aeróbica; por tanto, la calidad fermentativa se interpreta únicamente a partir de la composición reportada y no como una caracterización integral del ensilaje.

Tabla 2**Composición proximal de los suplementos y de la pradera, expresada sobre materia seca (%)**

Muestra	MS fresca	PC/MS	G/MS	FC/MS	C/MS	MO/MS
Concentrado comercial	87,00	18,39	4,60	12,64	11,49	88,51
Ensilaje de rastrojo de quinua	52,96	11,63	4,34	15,26	13,33	86,67
Ensilaje de calcha de maíz	17,14	15,81	4,14	16,34	12,60	87,40
Pradera	23,90	19,50	6,82	10,88	10,21	89,79

Nota: MS: materia seca en el alimento fresco; PC: proteína cruda; G: grasa; FC: fibra cruda; C: cenizas; MO: materia orgánica. Las variables distintas de MS se recalculan sobre base de materia seca mediante: valor reportado en base fresca/MS × 100. Son estimaciones obtenidas de valores redondeados de la tesis, no nuevos análisis. Para el concentrado, los datos de origen fueron garantías mínimas o máximas de la etiqueta comercial, por lo que no deben interpretarse como una composición analítica exacta.

Variables productivas y disponibilidad de forraje

La producción individual de leche se registró diariamente en dos ordeños, a las 05:00 y 15:00, y se expresó en kg/vaca/día. El contenido de grasa y proteína se determinó con un analizador ultrasónico de leche. El peso vivo se estimó semanalmente mediante barimetría y la condición corporal se evaluó en una escala de 1 a 5. La disponibilidad de materia seca se estimó con un plato medidor de pradera. El documento original calculó 5361,33 kg de MS/ha y una capacidad aproximada de 13 vacas/ha. El consumo de materia seca se estimó como 3 % del peso vivo, por lo que no corresponde a una medición individual directa de ingestión.

Análisis estadístico y económico

El análisis original se realizó en InfoStat 2014 mediante ANOVA para un diseño de bloques completos al azar y comparación de medias de Tukey al 5 %. En este manuscrito se conservaron los promedios, errores estándar y valores de *p* registrados en la tesis; no se efectuó un nuevo modelo de mediciones repetidas porque no se contó con la base individual completa. La interpretación se limita a señalar si el estudio detectó diferencias, sin asumir equivalencia entre dietas.

Los costos incluyeron únicamente los suplementos utilizados durante los 28 días. La tesis reportó el costo total de los suplementos para las tres vacas de cada tratamiento, mientras que la producción acumulada corresponde a una media por vaca. Por ello, para calcular el costo por kilogramo de leche se estimó la producción del grupo multiplicando la media por vaca por tres. También se calcularon el ahorro relativo

frente a S1 y los kilogramos de leche obtenidos por dólar invertido en suplemento. No se incluyeron mano de obra general, mantenimiento de praderas, ordeño, sanidad, depreciación, precio de venta de la leche ni costos de oportunidad; en consecuencia, los resultados representan una evaluación parcial y no el margen neto de la explotación.

RESULTADOS

Disponibilidad de forraje y composición de los alimentos

La disponibilidad estimada fue de 5361,33 kg de MS/ha. Para la superficie utilizada de 7000 m², el documento calculó 3752,93 kg de MS disponibles durante el ensayo. El requerimiento estimado de las nueve vacas fue 3656,52 kg de MS para 28 días, por lo que la oferta calculada cubrió el periodo experimental. Esta estimación debe interpretarse con cautela porque no se midieron directamente el consumo individual, el rechazo ni la tasa real de sustitución del pasto.

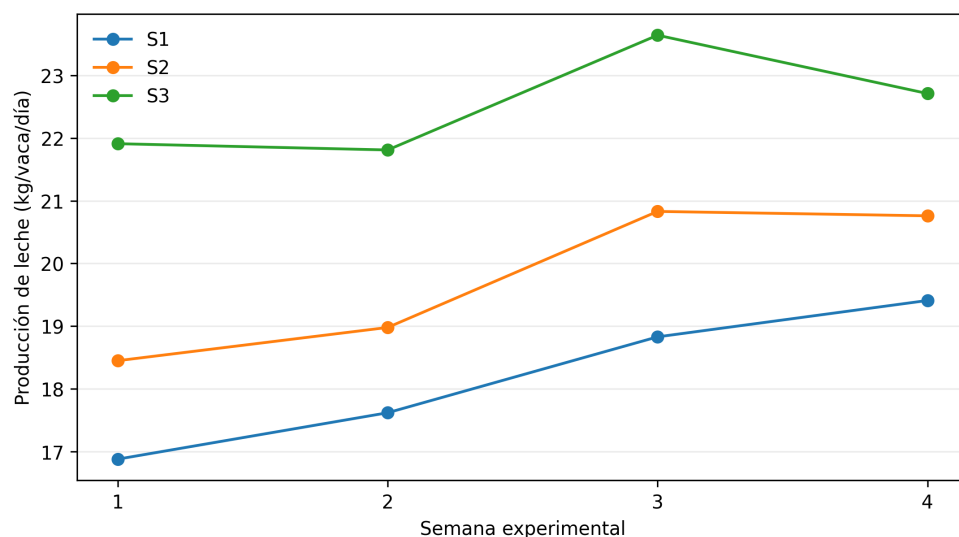
En base fresca, el ensilaje de rastrojo de quinua tuvo mayor materia seca que el ensilaje de calcha de maíz (52,96 frente a 17,14 %). Al expresar los nutrientes sobre materia seca, la proteína cruda estimada fue 11,63 % en el rastrojo de quinua y 15,81 % en la calcha de maíz; por tanto, no corresponde atribuir a la quinua una mayor densidad proteica. La formulación S3 suministró aproximadamente 3,74 kg de MS y 0,580 kg de PC por vaca y día mediante suplementos, valores próximos a los 3,48 kg de MS y 0,640 kg de PC de S1.

Producción y composición de la leche

No se detectaron diferencias entre tratamientos en ninguna semana ni en la producción acumulada media por vaca. Durante los 28 días, esa producción fue 509,17 kg/vaca en S1, 553,17 kg/vaca en S2 y 630,50 kg/vaca en S3 ($p = 0,1255$). Aunque S3 superó numéricamente a S1 en 23,8 %, la diferencia no fue estadísticamente demostrada y debe considerarse una tendencia descriptiva dentro de un ensayo con tres vacas por tratamiento.

Figura 1

Producción media semanal de leche según la estrategia de suplementación



Nota: Las diferencias semanales entre tratamientos no fueron significativas ($p > 0,05$).

Tabla 3

Producción de leche y composición láctea por semana

Variable	S1	S2	S3	ESM	<i>p</i>
Leche semana 1 (kg/vaca/día)	16,88	18,45	21,91	1,32	0,1197
Leche semana 2 (kg/vaca/día)	17,62	18,98	21,81	1,55	0,2616
Leche semana 3 (kg/vaca/día)	18,83	20,83	23,64	1,22	0,1139

Continúa en la página siguiente

Tabla 3 (continuación)

Variable	S1	S2	S3	ESM	p
Leche semana 4 (kg/vaca/día)	19,41	20,76	22,71	1,06	0,1993
Producción acumulada (kg/vaca/28 días)	509,17	553,17	630,50	32,17	0,1255
Grasa semana 1 (%)	3,15	3,76	3,04	0,22	0,1489
Grasa semana 2 (%)	3,19	3,27	3,25	0,15	0,9208
Grasa semana 3 (%)	3,70	3,77	3,83	0,18	0,8834
Grasa semana 4 (%)	3,74	3,72	3,79	0,23	0,9762
Proteína semana 1 (%)	3,19	3,23	3,11	0,02	0,0607
Proteína semana 2 (%)	3,15	3,19	3,14	0,03	0,4960
Proteína semana 3 (%)	3,16	3,17	3,17	0,03	0,9652
Proteína semana 4 (%)	3,15	3,16	3,15	0,01	0,7243

Nota: ESM: error estándar de la media. No se detectaron diferencias por la prueba de Tukey al 5 %.

El contenido de grasa se mantuvo entre 3,04 y 3,83 %, y la proteína entre 3,11 y 3,23 %. Ninguna de estas variables difirió entre tratamientos. La estabilidad de la composición sugiere que la reducción del concentrado no provocó cambios detectables en los principales sólidos evaluados durante las cuatro semanas.

Peso vivo y condición corporal

El peso vivo y la condición corporal tampoco presentaron diferencias. Los promedios semanales de peso oscilaron entre 449,96 y 507,35 kg, mientras que la condición corporal estuvo entre 2,00 y 2,67 puntos. La duración de 28 días limita la capacidad para identificar cambios sostenidos en reservas corporales, pero los resultados no mostraron deterioro evidente asociado con S2 o S3.

Tabla 4

Peso vivo y condición corporal durante el ensayo

Variable	S1	S2	S3	ESM	p
Peso semana 1 (kg)	488,55	463,05	482,89	17,02	0,5833
Peso semana 2 (kg)	482,54	449,96	485,06	12,59	0,2047
Peso semana 3 (kg)	504,69	467,36	485,09	12,47	0,2222
Peso semana 4 (kg)	507,35	470,02	482,37	13,51	0,2524
Condición semana 1	2,33	2,00	2,17	0,17	0,4444
Condición semana 2	2,33	2,17	2,33	0,15	0,6944
Condición semana 3	2,33	2,33	2,67	0,19	0,4444
Condición semana 4	2,33	2,17	2,50	0,24	0,6400

Nota: ESM: error estándar de la media. La condición corporal se evaluó en una escala de 1 a 5. No se detectaron diferencias por la prueba de Tukey al 5 %.

Costo de suplementación

Con los precios registrados en 2016, S1 presentó el mayor costo total de suplemento para las tres vacas, USD 178,08, mientras que S2 y S3 alcanzaron USD 100,38 y 98,70. En relación con S1, los ahorros fueron 43,6 % para S2 y 44,6 % para S3. Al relacionar esos costos con la producción estimada del grupo, el costo por kilogramo de leche se redujo de USD 0,117 en S1 a USD 0,060 en S2 y USD 0,052 en S3. El tratamiento S3 produjo 19,16 kg de leche por dólar invertido en suplemento, frente a 8,58 kg/USD en S1.

Tabla 5**Indicadores económicos parciales de las estrategias de suplementación**

Indicador	S1	S2	S3
Costo total del suplemento, 3 vacas (USD de 2016)	178,08	100,38	98,70
Costo de suplemento por vaca (USD de 2016/28 días)	59,36	33,46	32,90
Producción acumulada media (kg/vaca/28 días)	509,17	553,17	630,50
Producción estimada del grupo, 3 vacas (kg)	1527,51	1659,51	1891,50
Costo de suplemento/kg de leche (USD de 2016)	0,117	0,060	0,052
Leche por USD de suplemento (kg/USD de 2016)	8,58	16,53	19,16
Ahorro frente a S1 (%)	0,0	43,6	44,6

Nota: La producción del grupo se estimó como la media acumulada por vaca multiplicada por tres. Los costos corresponden a precios registrados en 2016. La evaluación se basa únicamente en el costo de los suplementos y no representa la rentabilidad total de la finca.

DISCUSIÓN**Respuesta productiva al reemplazo parcial del concentrado**

La ausencia de diferencias detectables en producción y composición de leche es compatible con que, durante 28 días y bajo las condiciones evaluadas, la reducción de concentrado de 4,0 a 1,5 kg/vaca/día no ocasionó un deterioro estadísticamente identificable al incorporar ensilajes y mantener el pastoreo. Este resultado es coherente con la naturaleza variable de la respuesta a suplementos en sistemas pastoriles. La cantidad adicional de leche depende del consumo total de materia seca, la tasa de sustitución de la pastura y la calidad del suplemento, por lo que aumentar concentrado no garantiza una respuesta lineal (Bargo et al., 2003). En un sistema de alta carga, Albarrán-Portillo et al. (2019) observaron que niveles crecientes de concentrado no siempre mejoraron proporcionalmente la producción ni el retorno económico. Esparza-Jiménez et al. (2021) también mostraron que parte de la leche puede sostenerse con la energía y proteína derivadas de la pastura cuando el suplemento complementa, en lugar de desplazar, el forraje base.

Los datos de S3 muestran una producción numéricamente mayor, pero el tamaño muestral impide atribuirle con confianza al tratamiento. La interpretación correcta no es que las dietas sean equivalentes ni que S3 aumente la producción, sino que el ensayo no detectó diferencias y que las estrategias con ensilaje mantuvieron el desempeño observado. Esta cautela resulta especialmente necesaria porque el reducido tamaño muestral limitó la capacidad para detectar diferencias y no se dispuso de registros individuales para ajustar un modelo de medidas repetidas.

La estabilidad de grasa y proteína concuerda con investigaciones donde el reemplazo de ingredientes convencionales por fuentes energéticas alternativas mantuvo la composición cuando la dieta global conservó una oferta suficiente de nutrientes (Aleixo et al., 2022; Pulido et al., 2024). Beltrán et al. (2019) demostraron que la respuesta al ensilaje de maíz también depende del orden de suministro y del comportamiento de pastoreo. En el presente estudio, la tesis confirma dos ordeños diarios, pero no documenta de manera inequívoca la distribución intradía de cada ensilaje; por ello, no es válido atribuir los resultados al momento de suministro. Tampoco se midieron consumo por hora, pH ruminal ni comportamiento ingestivo.

Aprovechamiento de calcha de maíz y rastrojo de quinua

El menor costo de S2 y S3 se relacionó principalmente con la sustitución de concentrado comercial por biomasa producida o disponible localmente. He et al. (2021) señalaron que el ensilaje de rastrojo de maíz puede contribuir a la rentabilidad de fincas lecheras cuando se integra en proporciones compatibles con el nivel de producción. No obstante, el rastrojo posee menor densidad energética que el ensilaje de planta completa y su inclusión debe considerar el balance de la dieta. En este ensayo, el concentrado residual, la pastura y el ensilaje de quinua pudieron actuar de manera complementaria, pero esta explicación no puede confirmarse sin digestibilidad, energía metabolizable y fermentación ruminal.

El rastrojo de quinua constituye el elemento más novedoso. La literatura reciente confirma que la biomasa de quinua presenta potencial forrajero, aunque su composición varía con el genotipo y la madurez (Shah

et al., 2020). Abarghuei y Boostani (2025) observaron que la edad de cosecha modifica la composición, la degradabilidad y la fermentación de la quinua, lo que respalda su potencial como alimento no convencional, pero también exige caracterizar el material utilizado. En ensilajes de planta completa, la calidad fermentativa e higiénica depende de la variedad, el momento de cosecha y los microorganismos predominantes (Fang et al., 2025), mientras que la mezcla con maíz puede mejorar las condiciones de fermentación según la proporción y el inoculante (He et al., 2025). Estos estudios respaldan la plausibilidad nutricional de la combinación maíz-quinua, pero no sustituyen la evidencia directa en vacas, porque el presente material fue rastrojo poscosecha y no planta completa.

La composición reportada mostró que el ensilaje de rastrojo de quinua tuvo mayor concentración de materia seca en base fresca. Sin embargo, después de estandarizar los datos, la proteína cruda estimada sobre materia seca fue menor en el rastrojo de quinua que en la calcha de maíz (11,63 frente a 15,81 %). En consecuencia, la posible utilidad de la mezcla no puede explicarse como un aumento de densidad proteica; más bien, S3 mantuvo un aporte aproximado de materia seca y proteína del suplemento cercano al de S1, además de incorporar biomasa local. Sin embargo, una evaluación moderna debería incluir fibra detergente neutro y ácido, lignina, digestibilidad, carbohidratos solubles, ácidos láctico y acético, nitrógeno amoniacal, pérdidas de materia seca y estabilidad aeróbica, variables recomendadas para interpretar correctamente un ensilaje (Kung et al., 2018; Muck et al., 2018).

Implicaciones económicas y productivas

La principal ventaja observada fue económica. S3 redujo el costo total de suplemento en 44,6 % y el costo de suplemento por kilogramo de leche en aproximadamente 55,2 % frente a S1. En sistemas pastoriles de pequeña escala, Albarrán-Portillo et al. (2019) encontraron que un nivel alto de concentrado elevó la producción, pero también incrementó el costo de alimentación por kilogramo de leche, sin mejorar el margen sobre costos de alimentación. La experiencia de fincas familiares de Brasil también mostró que una suplementación estratégicamente formulada puede mejorar la eficiencia económica sin recurrir al esquema de mayor costo (Machado Filho et al., 2014). Por ello, la decisión debe basarse en la respuesta marginal y el costo local, no solo en la producción por vaca.

Los resultados son relevantes para sistemas altoandinos con disponibilidad estacional de residuos de maíz y quinua. El ensilaje permite conservarlos, reducir pérdidas y disminuir la exposición a variaciones del precio del concentrado. Sin embargo, el cálculo económico se restringió al suplemento y no incluyó precio de la leche, mano de obra integral, uso de tierra, maquinaria, pérdidas del ensilaje ni costos ambientales. La conclusión económica debe formularse como menor costo directo de suplementación y no como mayor rentabilidad neta de la explotación.

Limitaciones y líneas futuras

Las principales limitaciones fueron el reducido número de animales, la corta duración, el uso de una estimación indirecta del consumo, la ausencia de un diseño cruzado, la falta de variables ruminales y la inexistencia de un análisis económico completo. Además, los datos se generaron en 2016; aunque la respuesta biológica conserva valor, los precios deben actualizarse antes de tomar decisiones comerciales. Futuros ensayos deberían utilizar más vacas, periodos de adaptación y evaluación más largos, mediciones repetidas analizadas mediante modelos mixtos, consumo individual, digestibilidad, balance energético, producción de sólidos lácteos, fermentación y estabilidad de los ensilajes, así como ingreso sobre costo alimentario con precios contemporáneos.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de un ensayo de 28 días con tres vacas por tratamiento, el reemplazo parcial del concentrado comercial por ensilaje de calcha de maíz, solo o combinado con ensilaje de rastrojo de quinua, no mostró diferencias estadísticamente detectables en producción acumulada media por vaca, grasa, proteína, peso vivo ni condición corporal; el reducido tamaño muestral impide concluir equivalencia entre dietas. La estrategia que incorporó ambos residuos presentó la mayor producción numérica, pero este resultado no alcanzó significancia y no debe interpretarse como superioridad productiva.

Las estrategias con ensilaje redujeron de manera importante el costo directo de suplementación. S3 alcanzó el menor costo total del suplemento y el menor costo de suplemento por kilogramo de leche, lo que evidencia el potencial de valorizar residuos locales y disminuir la dependencia de concentrados en sistemas pastoriles altoandinos. La recomendación práctica debe considerarse preliminar hasta ser confirmada mediante ensayos de mayor tamaño, duración y control nutricional.

FINANCIACIÓN (Obligatorio)

La investigación se desarrolló como trabajo de titulación en la Universidad Técnica de Ambato y no recibió financiación externa.

CONFLICTO DE INTERESES (Obligatorio)

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses relacionado con esta investigación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA (Obligatorio)

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://credit.niso.org/>), los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz. Los dos últimos criterios son obligatorios para ser considerado autor de la obra.

Tabla 6

Contribución de autoría según taxonomía CRediT

Participar activamente en:	Guillermo Dávalos Merino	Julio Bravo
Conceptualización	X	–
Análisis formal	X	–
Adquisición de fondos	–	–
Investigación	X	–
Metodología	X	–
Administración del proyecto	X	–
Recursos	X	–
Redacción - borrador original	X	–
Redacción - revisión y edición	X	X
La discusión de los resultados	X	X
Revisión y aprobación de la versión final del trabajo	X	X

Nota: X indica participación; – indica que no se declaró participación en ese rol.

REFERENCIAS

- Abarghuei, M. J., & Boostani, A. (2025). Investigating the use of *Chenopodium quinoa* to improve rumen biofermentability and reduction of methane and carbon dioxide production. *Veterinary and Animal Science*, 27, 100433. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2025.100433>
- Albarrán-Portillo, B., López-González, F., Ruiz-Albarrán, M., & Arriaga-Jordán, C. M. (2019). Productive and economic response to concentrate supplementation by grazing dairy cows at high stocking. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 855–869. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4787>
- Aleixo, J. A., Daza, J., Keim, J. P., Castillo, I., & Pulido, R. G. (2022). Effects of sugar beet silage, high-moisture corn, and corn silage feed supplementation on the performance of dairy cows with restricted daily access to pasture. *Animals*, 12(19), 2672. <https://doi.org/10.3390/ani12192672>
- Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., & Delahoy, J. E. (2003). Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 1–42. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)
- Beltrán, I. E., Al-Marashdeh, O., Burgos, A. R., Gregorini, P., Balocchi, O. A., Wittwer, F., & Pulido, R. G. (2019). The order of grass and maize silage supplementation modifies milk yield, grazing behavior and nitrogen partitioning of lactating dairy cows. *Animals*, 9(6), 373. <https://doi.org/10.3390/ani9060373>
- Castro-Jaime, C. A., Ramírez-Valverde, R., Burgueño-Ferreira, J. A., Ramírez-Briebesca, J. E., Miranda-Romero, L. A., & Améndola-Massiotti, R. D. (2024). The effects of supplementation timing on stocking rate and milk production per hectare in grazing Holstein dairy cows. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(4), 762–777. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i4.6680>
- Dávalos Merino, G. E. (2016). *Aplicación de diferentes estrategias de suplementación alimenticia sobre el desempeño productivo en vacas lecheras Holstein bajo pastoreo rotativo* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/f36a1eed-9de1-4da5-a2d3-cd54fe472f1e>
- Dida, M. F., Garcia, S. C., & Gonzalez, L. A. (2024). Dietary concentrate supplementation increases milk production and reduces predicted greenhouse gas emission intensity in pasture-based commercial dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 107(8), 5639–5652. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24303>
- Esparza-Jiménez, S., Albarrán-Portillo, B., González-Ronquillo, M., García-Martínez, A., Vázquez-Armijo, J. F., & Arriaga-Jordán, C.

- M. (2021). Milk yield derived from the energy and protein of grazing cows receiving supplements under an agrosilvopastoral system. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(1), 87–104. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i1.5529>
- Fang, D., Hua, S., Chen, H., Ji, Z., Wang, D., Wang, W., Shao, T., & Dong, Z. (2025). Producing high-quality and safe whole-plant quinoa silage through selecting variety and harvest time. *BMC Plant Biology*, 25, 333. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06326-y>
- He, C., Li, Q., Xiao, H., Sun, X., Gao, Z., Cai, Y., & Zhao, S. (2025). Effects of mixing ratio and lactic acid bacteria preparation on the quality of whole-plant quinoa and whole-plant corn or stevia powder mixed silage. *Microorganisms*, 13(1), 78. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13010078>
- He, Y., Cone, J. W., Hendriks, W. H., & Dijkstra, J. (2021). Corn stover usage and farm profit for sustainable dairy farming in China. *Animal Bioscience*, 34(1), 36–47. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0222>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). *Boletín técnico de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2025*. INEC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2025/Boletin_tenico_ESPAC_2025.pdf
- Kung, L., Jr., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Machado Filho, L. C. P., D'Ávila, L. M., da Silva Kazama, D. C., Bento, L. L., & Kuhnen, S. (2014). Productive and economic responses in grazing dairy cows to grain supplementation on family farms in the south of Brazil. *Animals*, 4(3), 463–475. <https://doi.org/10.3390/ani4030463>
- Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung, L., Jr. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3980–4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>
- Pulido, R. G., Beltrán, I. E., Aleixo, J. A., Morales, Á. G., Gutiérrez, M., Ponce, M., & Meléndez, P. (2024). Effect of replacing corn grain and soybean meal with field peas at different levels on feed intake, milk production, and metabolism in dairy cows under a restrictive grazing. *Animals*, 14(19), 2830. <https://doi.org/10.3390/ani14192830>
- Shah, S. S., Shi, L., Li, Z., Ren, G., Zhou, B., & Qin, P. (2020). Yield, agronomic and forage quality traits of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes in Northeast China. *Agronomy*, 10(12), 1908. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121908>