

Escuela Agrícola Panamericana
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación del uso de maíz rolado en la alimentación de vacas lecheras

Estudiante

Daniela María Daccarett Barrios

Asesoras

Marielena Moncada Laínez, Ph.D.

Kenia Lizeth David Lagos, M.Sc.

Honduras, noviembre 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA ODILA TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos.....	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos	13
Ubicación	13
Duración del Estudio	13
Unidades Experimentales	13
Tratamientos.....	14
Control	14
Maíz Rolado	14
Manejo y Alimentación.....	14
Aforo de Pasto	16
Proceso de Maíz Rolado.....	16
Variables Analizadas	17
Consumo de Ración Totalmente Mezclada (RTM).....	17
Producción de Leche.....	17
Calidad de Leche	18
Prueba de Digestibilidad	18
Condición Corporal	18
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	18
Resultados y Discusión.....	19

Consumo de Alimento	19
Producción de Leche	20
Calidad de Leche	20
Digestibilidad	22
Condición Corporal	24
Conclusiones	27
Recomendaciones	28
Referencias.....	29
Anexos.....	31

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Composición química del maíz rolado en la alimentación de vacas lecheras.....	14
Cuadro 2 Composición de la ración ofrecida y consumo a grupo control para alimentación de vacas lecheras en la Unidad de Ganado Lechero	15
Cuadro 3 Composición de la ración ofrecida y consumo a grupo maíz rolado para alimentación de vacas lecheras en la Unidad de Ganado Lechero	15
Cuadro 4 Valores medios de consumo suplemento y total (kg): comparación entre grupo control y grupo alimentado con maíz rolado.....	20
Cuadro 5 Valor medio de producción (L), calidad de leche (%), proteína, grasa y sólidos no grasos (SNG)	22
Cuadro 6 Pruebas de digestibilidad utilizando el método de NASCO.....	23

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del Experimento, Unidad de Ganado Lechero Escuela Agrícola Panamericana ...	13
Figura 2. Procesamiento de maíz rolado	17
Figura 3. Grafica de digestibilidad.....	24
Figura 4. Evaluación de condición corporal en vacas lecheras	26

Índice de Anexos

Anexo A. Primer día de alimentación con tratamientos.....	31
Anexo B. Pesaje de maíz rolado	32
Anexo C. Aforo de pasto	33
Anexo D. Cortando el pasto en partículas pequeñas para calcular materia seca.....	34
Anexo E. Pasto cortado, pesando 100 g.....	35
Anexo F. Obtención de materia seca de pasto	36
Anexo G. Recolección de muestras de heces.....	37
Anexo H. Analisis de muestras de heces en tamizador Nasco®	38
Anexo I. Resultados de las tres cribas del tamizador, tratamiento maíz rolado	39
Anexo J. Resultado de las tres cribas tratamiento control	40
Anexo K. Recolección de muestras de leche.....	41
Anexo L. Analisis de muestras calidad de leche	42
Anexo M. Perfil nutricional	43

Resumen

En las últimas décadas, la producción de leche en todo el mundo ha aumentado significativamente, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas que aumenten la productividad y disminuyan los costos. El maíz es un ingrediente esencial en las dietas de las vacas lecheras y juega un papel importante en la producción de la leche. Con este estudio se analizaron los efectos de reemplazar el 100% del maíz molido en la dieta por un 80% de maíz rolado en la alimentación de vacas Holstein de alta producción. Se realizaron dos tratamientos, el grupo control cuya ración total mixta (RTM) incluía concentrado con maíz molido y ensilaje y el grupo alimentado con maíz rolado cuya RTM incluía maíz rolado, concentrado sin maíz molido y ensilaje. Cada grupo tenía 20 Unidades experimentales las cuales fueron distribuidas aleatoriamente. Los resultados demuestran que el grupo alimentado con maíz rolado obtuvo una digestibilidad mejor del almidón, lo que resultó en una mejor utilización de los nutrientes. No se observaron diferencias significativas en la condición corporal, producción, ni en la calidad de la leche. El uso de maíz rolado mejora la digestibilidad y la eficiencia alimenticia sin afectar la producción ni la calidad de la leche, lo que lo convierte en una opción útil para optimizar las dietas de alta producción.

Palabras clave: Calidad de leche, eficiencia alimenticia, maíz rolado, producción de leche.

Abstract

In recent decades, milk production worldwide has increased significantly, leading to the search for alternatives that increase productivity and decrease costs. Corn is an essential ingredient in dairy cow diets and plays an important role in milk production. This study analyzed the effects of replacing 100% ground corn in the diet with 80% rolled corn in the diet of high-producing Holstein cows. Two treatments were conducted, the control group whose totally mixed ration (TMR) included concentrate with ground corn and silage and the group fed rolled corn whose TMR included rolled corn, concentrate without ground corn, and silage. Each group had 20 experimental units which were randomly distributed. The results show that the group fed rolled corn had better starch digestibility, which resulted in better nutrient utilization. No significant differences were observed in body condition, production, or milk quality. The use of rolled corn improves digestibility and feed efficiency without affecting production or milk quality, which makes it a useful option for optimizing high-production diets.

Keywords: Feed efficiency, milk quality, milk production, rolled corn.

Introducción

En los tres últimos decenios, la producción lechera mundial ha aumentado en más del 77%, pasando de 524 millones de toneladas en 1992 a 930 millones de toneladas en 2022 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024b). Según las últimas estimaciones, se espera que la producción de leche se estabilice en 2023 en las principales regiones productoras, con un crecimiento interanual del 0.1% (OCLA, 2023). La volatilidad en los mercados de materias primas presenta retos económicos para los productores en diversos sectores. A pesar de la disminución en los costos, dichas materias primas mantienen precios históricamente elevados. Surge la oportunidad de enfocarse en la búsqueda de alternativas que permitan incrementar la producción de leche, reducir costos y preservar la eficiencia en la gestión (Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, 2011).

Producir leche de alta calidad es un reto que persiste en la industria láctea. El manejo alimenticio de las vacas lecheras es uno de los factores que tiene mayor incidencia en la producción de leche. Esto se hace más importante si se considera que el costo alimenticio incide, por lo menos, en un 50% del costo total del litro de leche. Por otra parte, una buena alimentación permite una mejoría en la producción de leche, sanidad y reproducción del ganado lechero. Las vacas deben alimentarse según sus requerimientos nutritivos. Estos varían según el peso vivo, nivel de producción y momento de lactancia que se encuentran los animales. Todos estos aspectos deben ser considerados para formular una ración óptima, en lo que se considera una cierta proporción de forraje y concentrado (Hazard T., 1990).

La alimentación del ganado se divide en forraje, concentrados, vitaminas y minerales, cada uno desempeñando un papel crucial en la dieta según el estado fisiológico de la vaca. Los forrajes, ricos en fibra, se añaden en función de las necesidades específicas del animal. Los concentrados, por otro lado, son bajos en fibra, pero altos en energía; su contenido proteico puede variar y fermentan más rápidamente en el rumen que los forrajes.

Las vitaminas y minerales son fundamentales para la nutrición adecuada de las vacas, complementando lo que el resto de la dieta no puede proporcionar y asegurando una ración balanceada de manera eficiente. Es crucial ajustar la alimentación de las vacas lecheras según su estado de lactancia. Los primeros 100 días de lactancia son especialmente importantes, ya que durante este período la vaca produce el 45% de la leche total que dará durante toda su lactancia (Hazard T., 1990).

El maíz es uno de los ingredientes más importantes y utilizados en las dietas del ganado, por su disponibilidad, alto contenido de energía y buena digestibilidad. En las raciones de vacas lecheras, el almidón constituye la principal fuente de energía. La fuente y el método de procesamiento del almidón son determinantes cruciales de su digestibilidad en el rumen. Los cereales como el maíz son la principal fuente de almidón en la dieta del ganado lechero. Entre las diferentes fuentes de energía, una alimentación inadecuada con almidón, tanto en términos de tipo como de cantidad, puede tener el mayor impacto negativo en la función ruminal (Ishler y Becker, 2023) .

Se han desarrollado procesos para maximizar la eficiencia en la utilización de los nutrientes presentes en los ingredientes de las dietas animales. Estos métodos están diseñados para facilitar la digestión, mejorar la palatabilidad y aumentar la ingesta de alimentos. El maíz es uno de los ingredientes empleados con frecuencia en las dietas ganaderas por su gran aporte energético, aunque su digestión puede ser desafiante sin procesamiento previo. El maíz rolado o al vapor se somete a vaporización, elevando su humedad hasta un 20%, lo cual sensibiliza el endospermo y facilita su transformación en hojuelas mediante una máquina de rodillos. Se destaca por romper y gelatinizar las células del almidón, lo cual mejora significativamente su digestibilidad. Además, con este tratamiento al vapor se rompe la matriz de la proteína la cual mantenía la estructura globular del almidón. El almidón gelatinizado es fermentado en el rumen (Ramos Acevedo, 2016). El maíz molido es el procesamiento más común de todos por su facilidad de elaborar el producto. Este se procesa en seco, usando el equipo de molienda para llegar al producto final maíz molido.

Alimentar a las vacas lecheras con maíz rolado mejora la digestibilidad y la disponibilidad de energía y nutrientes (Owens et al., 1986). Una buena digestibilidad del almidón aumentara el aprovechamiento energético, y una mayor producción de ácidos grasos volátiles (AGV), que son una fuente de energía para las vacas lecheras (McAllister et al., 1990).

La producción y calidad de leche se obtiene con una buena alimentación. El maíz rolado tiene muchos beneficios al momento de hablar de la producción, ayuda a mejorar la digestibilidad del almidón y aumenta la energía así incrementando la producción de leche, se verá una buena composición de la leche incrementando grasas y proteínas. Además, ayuda a la salud ruminal, ya que, se fermenta de una manera más eficiente por el proceso del rolado, regula el pH ruminal y mejora la eficiencia del alimento. También ayuda a la condición corporal permitiendo que las vacas puedan alcanzar sus requerimientos energéticos diarios siendo algo fundamental para una buena producción de leche ya que, la falta de acondicionamiento o la delgadez pueden reducir con frecuencia la producción y los niveles de grasa en la leche debido a la falta de reservas de energía y proteína para mantener la producción (Heinrichs et al., 2023).

Este estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de sustituir el 80% del maíz molido por maíz rolado en la ración total mezclada de vacas Holstein de alta producción, en relación con la producción calidad de la leche, digestibilidad, condición corporal y consumo.

Materiales y Métodos

Ubicación

El estudio se realizó en la Unidad de Ganado de Leche en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el Km 30 carretera a Danlí, Honduras, a una altura entre 750 a 850 msnm y con una temperatura promedio anual de 26 °C con precipitaciones anuales de 1,100 mm (Hernández, 2019).

Duración del Estudio

Este estudio se llevó a cabo durante julio a agosto de 2024.

Figura 1

Ubicación del Experimento, Unidad de Ganado Lechero Escuela Agrícola Panamericana



Unidades Experimentales

Se utilizaron 40 vacas lecheras Holstein, distribuidas en dos grupos según su tratamiento con una producción promedio de 25 kg al día, encontrándose entre la segunda y quinta lactancia.

Tratamientos

Se evaluaron dos tratamientos:

Control

Es la dieta actual utilizada para la alimentación de vacas élite en la Unidad de Ganado Lechero. Esta consiste en una ración total mezclada (RTM) con concentrado, ensilaje de maíz. Adicionalmente las vacas salían a pastorear.

Maíz Rolado

La dieta que consiste en una RTM donde se hizo un suplemento concentrado balanceado en donde se reemplazó el maíz molido por un 80% de maíz rolado, ensilaje de maíz. Adicionalmente las vacas salían a pastoreo.

Cuadro 1

Composición química del maíz rolado en la alimentación de vacas lecheras

Elemento	Unidades	Concentración
Humedad	g/100 g	12-14
Proteína bruta	g/100 g	8.5
Energía metabolizable	(Mcal/kg)	3.37
Extracto etéreo	g/100 g	3.88
Fibra cruda	g/100 g	0.75
FDA	g/100 g	2.44
FDN	g/100 g	7.15
Cenizas totales	g/100 g	1.29
Almidón total	g/100 g	78
Digestibilidad de MS	g/100 g	98
Digestibilidad de MO	g/100 g	98

Nota. Concentración base seca, FDA (Fibra detergente acida), FDN (Fibra detergente neutra), MS (Materia Seca), MO (Materia orgánica)

Manejo y Alimentación

Durante el experimento, las vacas de ambos tratamientos se mantuvieron en un sistema semi-estabulado. Se implementó un pastoreo rotacional, en el que las vacas cambiaban de potrero cada mañana y recibían una ración total mezclada (RTM) como suplemento. La mayor parte del tiempo, las vacas pastaban libremente, aunque eran trasladadas a corrales separados dos veces al día, durante las horas de ordeño: a las 5:00 am y a la 1:30 pm. Por la mañana, las vacas eran llevadas desde las parcelas a la sala de ordeño y, posteriormente, a los corrales, donde se les ofrecía el RTM en

comederos. Por la tarde, eran trasladadas nuevamente a los corrales, donde permanecían un tiempo antes de regresar a la sala de ordeño. Tras el ordeño, volvían al corral para alimentarse y, finalmente, regresaban al pastoreo a las 3:20 PM.

Cuadro 2

Composición de la ración ofrecida y consumo a grupo control para alimentación de vacas lecheras en la Unidad de Ganado Lechero

Ingredientes	Tratamiento Control		
	Ración ofrecida (%)	%MS	MS (kg)
Pastoreo NIR170423	--	18.00	9.400
Ensilaje de Maíz Zamorano	--	28.00	6.470
Maíz Grano (molido fino)	44.00	87.00	4.385
Harina de Soya 47.5 Solvent	28.50	88.40	2.882
Semolina de Arroz	7.00	89.40	0.716
Salvado de Trigo	5.00	89.20	0.510
Lactomil®	3.30	97.00	0.366
200287 Núcleo Estándar Premium	2.00	99.00	0.277
Bicarbonato de Sodio	1.25	99.50	0.142
Urea 281 CP	0.30	99.00	0.034
Sal Común	0.50	99.50	0.057
Melaza de Caña	8.15	73.00	0.681
Totales	100.00	28.82	25.870

Cuadro 3

Composición de la ración ofrecida y consumo a grupo maíz rolado para alimentación de vacas lecheras en la Unidad de Ganado Lechero

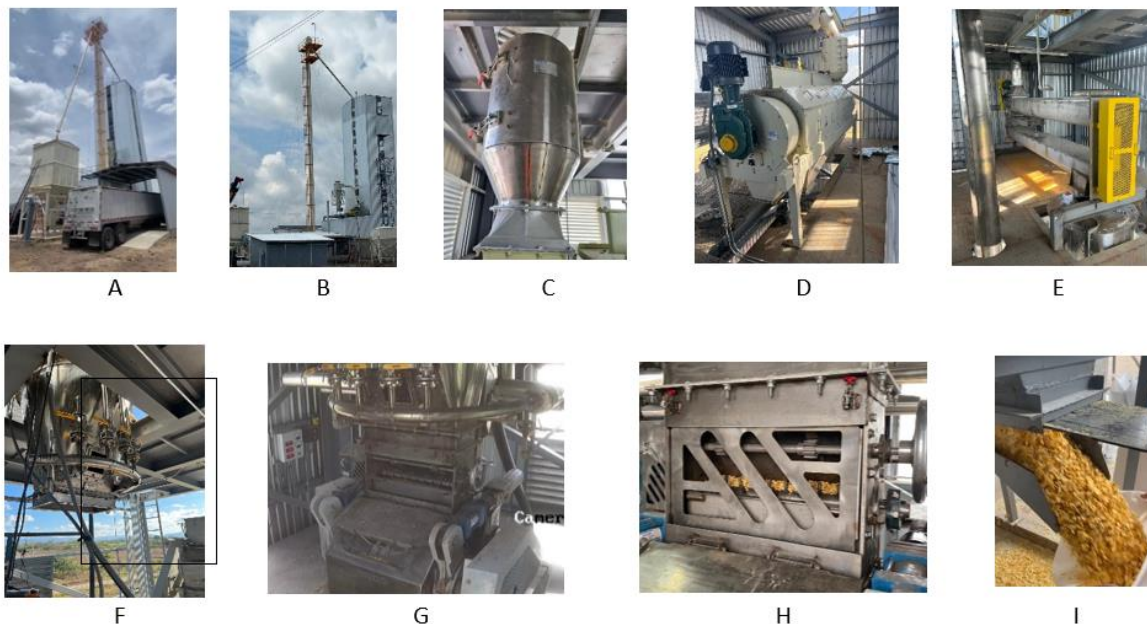
Ingredientes	Tratamiento Maíz Rolado		
	Ración ofrecida (%)	%MS	MS(kg)
Pastoreo NIR170423		18.00	9.400
Ensilaje de Maíz Zamorano		28.00	7.100
Maíz Rolado H14	39.78	86.00	4.096
Harina de Soya 47.5 Solvent	30.71	88.40	3.252
Semolina de Arroz	7.53	89.40	0.806
Salvado de Trigo	5.42	89.20	0.579
Lactomil®	3.55	97.00	0.413
200287 Núcleo Estándar Premium	2.17	99.00	0.257
Bicarbonato de Sodio	1.36	99.50	0.161
Urea 281 CP	0.33	99.00	0.039
Sal Común	0.54	99.50	0.065
Melaza de Caña	8.61	73.00	0.753

Aforo de Pasto

El área destinada al pastoreo abarcó 8.44 hectáreas, divididas en 19 potreros teniendo estos potreros diferentes extensiones entre sí, con un sistema de pastoreo rotacional que permitió el uso de cada potrero durante un día. Día de por medio recolectaron submuestras en el potrero en uso y en el potrero en descanso. Se recolectaron cinco submuestras de oferta y cinco de rechazo en cada potrero, siguiendo un patrón en zigzag para asegurar una representación uniforme del área. Se utilizó un cuadrado de 1 m² para la recolección de las muestras, cortando el pasto a 30 cm del suelo.

Proceso de Maíz Rolado

El grano de maíz es recibido en la planta y almacenado en la tolva correspondiente, donde presenta una humedad inicial del 10-12%. A continuación, se transporta mediante un elevador hacia la torre de procesamiento, donde pasa a través de un imán diseñado para separar objetos metálicos o contaminantes, minimizando así el riesgo de afectar el rumen de las vacas. Posteriormente, el grano es sometido a un limpiador de granos que combina un sistema de limpieza y succión, el cual expulsa harinas para evitar la formación de masas durante la cocción, logrando una reducción del 90% en las micotoxinas. Este proceso también permite la separación de migas y granos quebrados, asegurando que el maíz ingresado tenga la mayor pureza posible. Luego, el grano es transferido a un acondicionador, donde se incrementa su humedad al 16-18%. Durante esta fase, se puede añadir un inhibidor de hongos o un surfactante. Posteriormente, los granos son llevados a la cámara de cocción, donde permanecen durante 30 minutos a una temperatura de 98 °C, alcanzando una humedad del 20-21%. Tras el proceso de cocción, el grano se dirige a la roladora, que consiste en dos rodillos que giran en direcciones opuestas, formando hojuelas con ranuras que aumentan el área de superficie disponible para las bacterias del rumen y facilitan la penetración del líquido ruminal, logrando así una digestibilidad del 99%. Finalmente, el grano es trasladado a un enfriador/secador con flujo de aire a temperatura ambiente, y posteriormente pasa por una doble válvula, donde se empaca o se envía a granel con una humedad final del 12-14%.

Figura 2*Procesamiento de maíz rolado*

Nota. A: Recibimiento del maíz, B: Elevador, C: Imán, D: Limpiador de granos, E: Acondicionador, F: Cámara de cocción, G: Roladora de granos, H: Enfriador/Secador, I: Válvula de salida

Variables Analizadas***Consumo de Ración Totalmente Mezclada (RTM)***

Se pesó la cantidad de alimento proporcionada diariamente de ambos tratamientos y al completar su jornada de alimentación se pesó el rechazo. La diferencia entre ambos pesos entre total de animales de cada tratamiento proporcionará una estimación del consumo de la ración total mezclada, calculado según la fórmula 1 .

$$\text{Consumo} = (\text{Oferta} - \text{Rechazo}) \div \text{Número de Animales} \quad [1]$$

Producción de Leche

La producción de leche se midió cuatro veces por semana durante 58 días, en ambos ordeños (AM y PM), para calcular la producción diaria. Se empleó un equipo de pesa digital de las máquinas de ordeño DeLaval® para llevar a cabo estas mediciones.

Calidad de Leche

Para determinar el contenido de grasa, proteína y sólidos no grasos, se utilizó el analizador Ekomilk Ultra®. Se tomaron muestras cada siete días en el ordeno de la mañana y tarde, guardando las muestras a temperatura de 4 °C durante un período de 58 días.

Prueba de Digestibilidad

Se empleó el analizador de digestión NASCO®, que incluye tres tamices de acero inoxidable con las siguientes aperturas: tamiz superior de 4.76 mm, tamiz medio de 3.17 mm y tamiz inferior de 1.59 mm. El tamiz superior debe mostrar una retención menor al 10% en condiciones normales y menos del 20% durante la lactancia temprana. El tamiz medio debe tener una retención inferior al 20%, mientras que el tamiz inferior debe retener más del 50% del material. Para la prueba, se tomaron cinco muestras de 500 g cada uno de ambos corrales, las cuales se analizaron de manera individual. Esta variable se midió tres veces por semana a lo largo del estudio.

Condición Corporal

Se evaluó la condición corporal de cada animal en tres ocasiones en la semana 1, 4 y 8 del estudio, utilizando el método de la escala de evaluación de 1-5 para ganado lechero siendo evaluada por la misma persona.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con 20 repeticiones por tratamiento, con 20 unidades experimentales por cada uno, siendo cada vaca una unidad experimental (n = 40). Las variables medidas fueron analizadas mediante prueba t-Student, con el programa SAS® versión 9.4. Finalmente, la significancia fue declarada cuando $P \leq 0.05$.

Resultados y Discusión

Consumo de Alimento

El índice de consumo se refiere a la cantidad de alimento ingerido por animal en un cierto periodo de tiempo. Este indicador resulta de mucha utilidad ya que permite entender las dinámicas de alimentación y la influencia del alimento en la ingesta de una ración adecuada. El consumo de alimento puede verse influenciado por el tamaño de la partícula, la palatabilidad y la digestibilidad de este. A mayor digestibilidad, se observa un incremento en el reflejo de alimentación. Este consumo puede medirse en función de la totalidad de la ración o de un suplemento específico. En este estudio, se evaluó el consumo del suplemento lo cual consistió en el RTM que fue ofrecido a ambos grupos uno con maíz roado, concentrado y ensilaje y el segundo grupo con concentrado y ensilaje. Se evaluó el consumo total que consistió en el RTM y pasto. En consumo suplemento y total no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$).

De acuerdo con Richardson y Herd (2004), el consumo y la cantidad de alimento rechazado es dependiente de los patrones de alimentación (2%), el nivel de actividad (10%), la conversión proteica y el metabolismo de los tejidos (37%), composición corporal (5%), aumento de calor metabólico (9%), digestibilidad (10%) y otros procesos metabólicos no definidos (27%). Lo que nos indica que la digestibilidad resulta ser un factor importante en el consumo de alimento y la cantidad de rechazo.

Por otra parte, Potts et al. (2017), menciona que las diferencias en digestibilidad pueden ser dependientes del tipo de dieta que se suministre para consumo. En el mismo estudio, se encontró que las vacas alimentadas con dietas altas en almidón no presentan diferencias en el rechazo de alimento. Sin embargo, aquellas que fueron alimentadas con dietas bajas en almidón, presentan variación en la digestibilidad y el rechazo de alimento. El maíz roado tiene almidón altamente disponible que contribuye a reducir el tiempo de digestión y la extracción de nutrientes, lo que explica las diferencias entre tratamientos.

Cuadro 4

Valores medios de consumo suplemento y total (kg): comparación entre grupo control y grupo alimentado con maíz roado.

Variable	Tratamiento		Valor P
	Control	Maíz Rolado	
Consumo suplemento	15.57 ± 0.19	16.10 ± 0.15	0.08
Consumo Total	25.55 ± 0.44	25.54 ± 0.39	0.98

Nota. ± Error Estándar, Valor P = Probabilidad

Producción de Leche

Para alcanzar el mayor nivel de producción en un hato lechero, es fundamental aprovechar al máximo el potencial genético de las vacas, además de mejorar su manejo y alimentación. La formulación de dietas para vacas lecheras de alta producción requiere el conocimiento de los nutrientes que necesita la glándula mamaria para producir leche. Estos nutrientes incluyen agua, proteínas (aminoácidos), carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas (Peters et al., 2020).

Alimentando con dietas que cubren los requerimientos esenciales de vacas de alta producción pudimos observar, en el Cuadro 5 la producción y calidad de la leche. El grupo de vacas que se alimentó con maíz roado mostró una producción de 22.09 kg, mientras que el grupo control obtuvo una producción de 21.74 kg. No obstante, el análisis estadístico indica que no hubo diferencias ($P > 0.05$). Sin embargo, un estudio realizado por Razzaghi et al. (2021), utilizando 31% de maíz roado en su RTM, encontró una mayor producción de leche en comparación con el maíz molido, con valores de 26.7 y 26.00 kg, respectivamente. Por otra parte, Theurer et al. (1999), obtuvieron resultados similares al del presente estudio. Así mismo, Razzaghi et al. (2021), también sugieren, que la producción de leche, está altamente relacionada a la disponibilidad de energía y proteína metabolizable en la dieta de los animales, como también por el consumo de materia seca.

Calidad de Leche

Según la FAO (2024a), la leche está compuesta de grasa (3-4%), proteína (3-3.5%) y lactosa (5%), además de algunos minerales importantes. Aun así, la composición de la leche puede variar

dependiendo de la raza y la alimentación. La cantidad de proteína en la leche esta influenciada fuertemente por la disponibilidad y calidad de la proteína en los alimentos. La grasa en la leche es influenciada por la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen, especialmente, acetato y butirato. Los sólidos no grasos (SNG) en la leche, están influenciados por la calidad de la ración alimenticia, al igual que la proteína. Además, la carga energética en la dieta y la concentración de propionato también son factores clave para la determinación del volumen de leche a producir y la calidad de esta.

Según Oliveira et al. (1993) y Chen et al. (1995), las dietas que contienen maíz rolado han mostrado un incremento en el volumen de leche, proteína en leche, sólidos no grasos y grasa corregida en comparación con otras formas de procesamiento de maíz. Sin embargo, Mathew et al. (2011), indican que cuando el maíz es finamente molido, las diferencias entre maíz molido convencional y maíz rolado pueden ser mínimas, resultando en rangos similares de producción y calidad.

No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en la calidad de la leche entre tratamientos, y están entre los rangos óptimos de composición (Cuadro 5). Estos resultados son similares a los obtenidos por Ahmadi et al. (2020), los cuales reportaron que no hubo diferencias entre tratamientos de maíz molido y maíz rolado en cuanto a volumen de leche, grasa, contenido de proteína y lactosa. Sin embargo, Razzaghi et al. (2021), reportaron que su tratamiento de maíz rolado presentó valores de proteína en leche más altos que el tratamiento de maíz molido, aun así, no encontraron diferencias entre tratamientos en cuanto a grasa en leche y energía corregida en leche.

Cuadro 5

Valor medio de producción (L), calidad de leche (%), proteína, grasa y sólidos no grasos (SNG)

Variable	Tratamiento		Valor P
	Control	Maíz Rolado	
Producción (L)	21.74 ± 0.26	22.09 ± 0.25	0.34
Proteína	3.08 ± 0.001	3.79 ± 0.002	0.30
Grasa	3.51 ± 0.001	3.44 ± 0.001	0.44
SNG	7.92 ± 0.001	7.73 ± 0.001	0.81

Nota. SNG=Sólidos No Grasos, ± Error Estándar

Digestibilidad

Este parámetro resulta ser muy importante en el ganado bovino, particularmente en el de aptitud lechera, ya que permite entender y medir el nivel de asimilación y procesamiento de los alimentos dentro del sistema digestivo. Las vacas lecheras necesitan descomponer moléculas de gran tamaño para producir metabolitos útiles en diferentes procesos dentro del organismo. La digestibilidad se puede medir de diferentes formas y cada alimento tiene un nivel de digestibilidad de acuerdo con su composición. Este método permite entender el proceso de conversión y desdoblamiento de nutrientes de gran tamaño en partículas más pequeñas útiles para la absorción.

Según los resultados, se observa que, en el primer tamiz, que presenta el mayor tamaño de separación, se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 6). En el tratamiento con maíz roado, el 9.28% del peso total de la muestra se separó en esta pantalla, lo cual está dentro de los valores aceptables según las indicaciones del fabricante ($<10\%$). En contraste, el tratamiento control mostró una separación del 28.04% en la primera pantalla, un resultado que no se ajusta a los parámetros ideales de digestibilidad. En los dos tamices siguientes, se mantuvieron las diferencias ($P \leq 0.05$); sin embargo, los valores de ambos tratamientos en las pantallas 2 y 3 se encuentran dentro de los parámetros deseables ($<20\%$ y $>50\%$, respectivamente). Además, al analizar la acumulación a través de los tamices, se puede apreciar que la homogeneidad en el proceso de digestibilidad del tratamiento de maíz roado presenta una tendencia favorable, con la mayor proporción de la muestra concentrándose en el tamiz de menor tamaño.

El uso de maíz rolado en vacas lecheras aumenta la degradación de almidón en el rumen (Chen et al., 1994; Oliveira et al., 1995; Dhiman et al., 2002). El incremento en la digestibilidad y utilización de los almidones se da por cambios estructurales y químicos en los gránulos de almidón cuando el maíz es expuesto a una combinación de temperatura, calor y presión. El maíz rolado, presentó un 11.79% más de peso de muestra en el último tamiz, lo que indica que el proceso de digestión fue más eficiente y la conversión en el tamaño de las partículas fue mejor, es decir, el tratamiento de maíz rolado presentó mayor digestibilidad por la condición de disponibilidad inmediata de los almidones dentro del sistema digestivo (Figura 3). En un estudio realizado por Theurer et al. (1999) se reportó que la digestibilidad en todo el tracto intestinal aumento 10% cuando se alimentó con maíz rolado, en comparación con animales que fueron alimentados con maíz molido convencional. Finalmente, los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos por Alvarado et al. (2009), los cuales encontraron cambios en la digestibilidad de carbohidratos no fibrosos (CNF), las vacas que fueron alimentadas con maíz rolado presentaron una digestibilidad de CNF de 81.18%, y las vacas que fueron alimentadas con maíz molido convencional presentaron 77.42%.

Cuadro 6

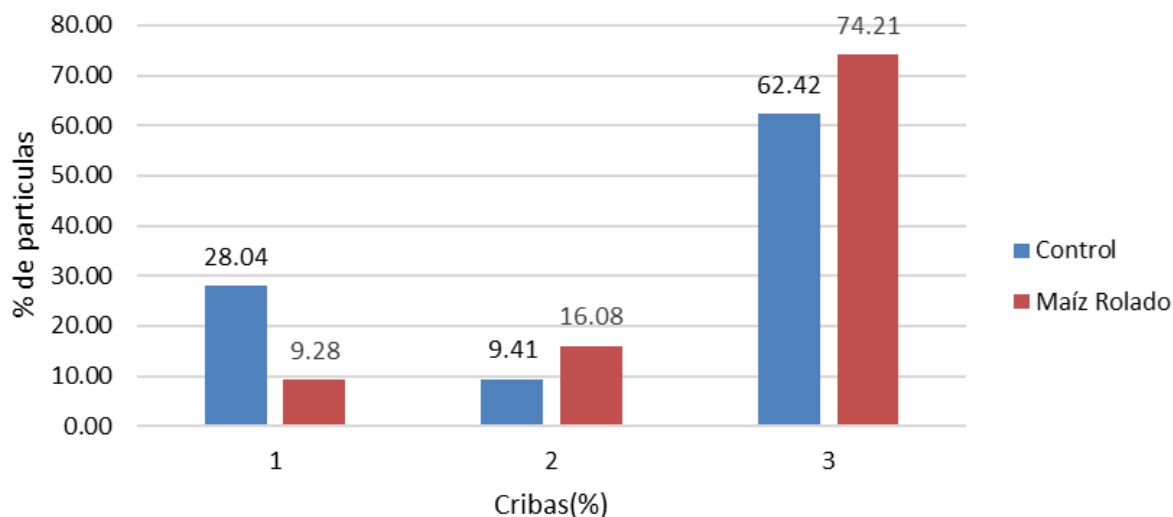
Pruebas de digestibilidad utilizando el método de NASCO

Cribas (%)	Tratamiento		Valor-P
	Control	Maíz Rolado	
Superior	28.04 ± 0.01	9.28 ± 0.06	<0.0001
Media	9.41 ± 0.08	16.08 ± 0.07	<0.0001
Inferior	62.42 ± 0.01	74.21 ± 0.01	<0.0001

Nota. Medias expresadas como media ± error estándar; Valor P = Probabilidad

Figura 3

Grafica de digestibilidad por tratamiento y criba



Condición Corporal

La condición corporal es un indicador subjetivo que se utiliza en animales de producción masiva para evaluar el estado en el que se encuentra. En general, la condición corporal permite describir de manera rápida y eficaz la condición en cuanto a reservas de grasa, porcentaje de musculo y textura general corporal del animal. En las producciones de ganado lechero, es un indicador que contribuye a la toma de decisiones en etapas críticas del ciclo productivo del animal. Según Heinrichs et al. (2023), se utiliza una puntuación que se evalúa de manera visual y táctil de las reservas de grasa corporal lo cual consiste en una escala de cinco puntos con incremento de 0.25. Una calificación de uno indica una vaca muy delgada, mientras que cinco indica una vaca gorda siendo tres una condición corporal promedio.

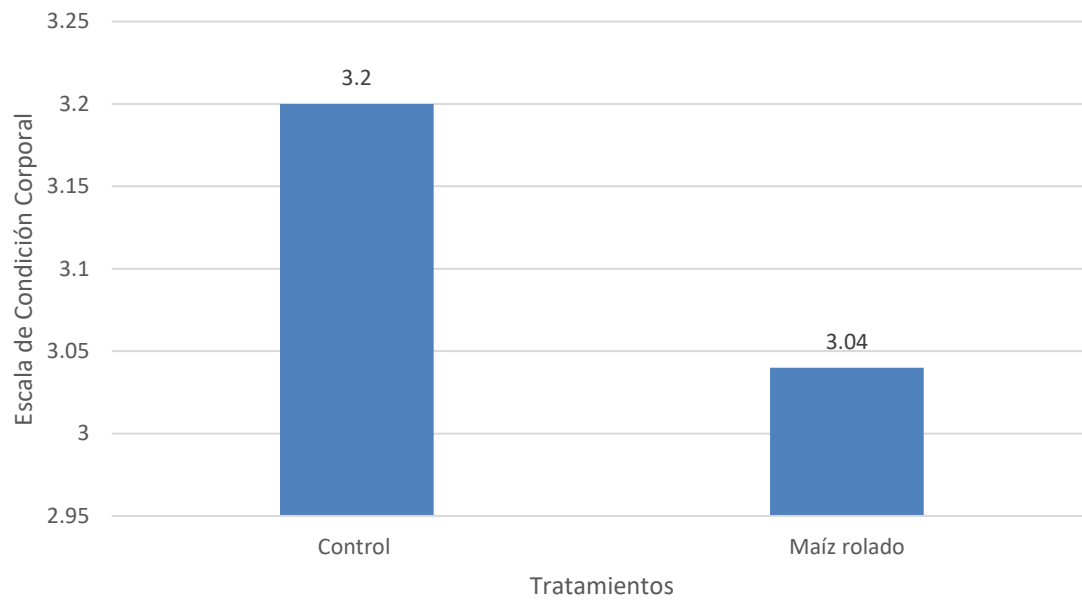
Los resultados muestran que no existen diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos. Las vacas que fueron sometidas al tratamiento de maíz roloado presentaron un promedio en su condición corporal de 3.04, mientras que, las vacas que fueron alimentadas bajo el tratamiento control presentaron una condición corporal promedio de 3.2 (Figura 4). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en un estudio realizado por Yu et al. (1997), en el cual se encontró que las vacas alimentadas

con maíz molido presentaron valores similares de peso y condición corporal con las vacas que fueron alimentadas con maíz rolado.

El maíz rolado genera una mayor biodisponibilidad de nutrientes en el sistema digestivo, aumentando de esta manera el volumen de producción de leche diario y la concentración de sólidos totales en la leche. Aun así, la condición corporal de las vacas en los dos tratamientos se mantuvo en los valores óptimos sin presentar diferencias entre ellos, lo que indica que el gasto energético de mantenimiento en ambos tratamientos está siendo suplido y el extra de nutrientes que está disponible es dispuesto para la producción de leche. En un estudio realizado por Zhong et al. (2008), se encontró que las vacas que son alimentadas con maíz rolado presentaron un incremento en los niveles de lactosa y grasa en la leche. A su vez, en el mismo estudio realizado por Yu et al. (1997) se encontró que las vacas alimentadas con maíz rolado incrementaron su volumen de producción diario de leche en un 4.5% en comparación con aquellas que fueron alimentadas con maíz molido convencional. El aumento en la producción de leche en vacas alimentadas con maíz rolado es un indicador del potencial que tiene este tipo de maíz como alimento, ya que, aun cuando los valores de condición corporal se mantienen en comparación con el maíz convencional, los rendimientos son mayores.

Figura 4

Evaluación de condición corporal en vacas lecheras



Conclusiones

La inclusión de maíz rolado tuvo un efecto positivo en cuanto a digestibilidad y consumo de suplemento esto nos indica que hubo una mayor digestión y aprovechamiento de los nutrientes suplementados.

Sin embargo, no se obtuvo ningún efecto en cuanto a la calidad y producción de leche, incluyendo la condición corporal.

Recomendaciones

Se recomienda un análisis de costo del uso del maíz rolado en comparación al maíz molido.

Evaluar diferentes niveles de inclusión del maíz rolado en las diferentes etapas de lactancia.

Referencias

- Ahmadi, F., Ghorbani, G. R., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Heydari, M., Rafiee, H. y Beauchemin, K. A. (2020). Performance and feeding behavior of dairy cows fed high-concentrate diets containing steam-flaked or ground corn varying in particle size. *Journal of Dairy Science*, *103*(4), 3191–3203. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17344>
- Alvarado G, C., Anrique G, R. y Navarrete Q, S. (2009). Effect of Including Extruded, Rolled or Ground Corn in Dairy Cow Diets Based on Direct Cut Grass Silage. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *69*(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-58392009000300008>
- Chen, K. H., Huber, J. T., Theurer, C. E., Simas, J., Santos, F., Chan, S. C. y Swingle, R. S. (1995). Effect of Substituting Steam-Flaked Sorghum for Concentrate on Lactation and Digestion in Dairy Cows1. *Journal of Dairy Science*, *78*(2), 362–367. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76644-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76644-9)
- Chen, K. H., Huber, J. T., Theurer, C. B., Swingle, R. S., Simas, J., Chan, S. C., Wu, Z. y Sullivan, J. L. (1994). Effect of Steam Flaking of Corn and Sorghum Grains on Performance of Lactating Cows1. *Journal of Dairy Science*, *77*(4), 1038–1043. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77039-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77039-9)
- Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. (Julio 2011). *Volatilidad de los precios y seguridad alimentaria* (HLPE Informe 1). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE-Informe-1-volatilidad-de-los-precios-Julio-2011.pdf
- Dhiman, T. R., Zaman, M. S., MacQueen, I. S. y Boman, R. L. (2002). Influence of Corn Processing and Frequency of Feeding on Cow Performance1,2. *Journal of Dairy Science*, *85*(1), 217–226. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74070-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74070-8)
- Hazard T., S. (1990a). ¿Sabe Ud. como alimentar sus vacas lecheras? *Investigación Y Progreso Agropecuario Carillanca*, *9*(4), Artículo 4, 38–41. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/31826>
- Heinrichs, J., Jones, C. M. y Ishler, V. A. (2023). *Body condition scoring as a tool for dairy herd management*. PennState Extension. <https://extension.psu.edu/body-condition-scoring-as-a-tool-for-dairy-herd-management>
- Ishler, V. A. y Becker, C. (2023). *Concentrates for Dairy Cattle*. PennState Extension. <https://extension.psu.edu/concentrates-for-dairy-cattle>
- Mathew, B., Eastridge, M. L., Oelker, E. R., Firkins, J. L. y Karnati, S. K. R. (2011). Interactions of monensin with dietary fat and carbohydrate components on ruminal fermentation and production responses by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *94*(1), 396–409. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3580>
- McAllister, T. A., Rode, L. M., Major, D. J., Cheng, K. j. y Buchanan-Smith, J. G. (1990). Effecto of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Canadian Journal of Animal Science*, *70*, 571–579. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjas90-069>
- OCLA. (2023). *Pronóstico mundial de producción de leche 2023*. Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. Actualidad noticias. <https://ocla.org.ar/noticias/27353328-pronostico-mundial-de-produccion-de-leche-2023>

- Oliveira, J. S., Huber, J. T., Ben-Ghedalia, D., Swingle, R. S., Theurer, C. B. y Pessaraki, M. (1993). Influence of Sorghum Grain Processing on Performance of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 76(2), 575–581. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77377-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77377-4)
- Oliveira, J. S., Huber, J. T., Simas, J. M., Theurer, C. B. y Swingle, R. S. (1995). Effect of Sorghum Grain Processing on Site and Extent of Digestion of Starch in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 78(6), 1318–1327. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76753-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76753-4)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024a). *Composición de la leche*. <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/milk-composition/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024b). *Producción lechera*. Portal lácteo. <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/>
- Owens, F. N., Zinn, R. A. y Kim, Y. K. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1634–1648. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351634x>
- Peters, S., Huppertz, T., van Est, L., Blom, L. y Valkenburg, J. (2020). Gezondheid centraal in een duurzaam dieet (berekend met Optimeal). *Voeding Magazine*, 2(3), 25–30.
- Potts, S. B., Shaughnessy, M. y Erdman, R. A. (2017). The decline in digestive efficiency of US dairy cows from 1970 to 2014. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5400–5410. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12641>
- Ramos Acevedo, E. (2016). *Producción, densidad y disponibilidad in vitro del almidón de maíz y sorgo a varias velocidades de rolado al vapor* [Tesis]. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/13824/1/1080218520.pdf>
- Razzaghi, A., Drackley, J. K. y Malekkhahi, M. (2021). Concentrate allowance and corn grain processing influence milk production, body reserves, milk fatty acid profile, and blood metabolites of dairy cows in the early postpartum period. *Journal of Dairy Science*, 104(5), 5479–5492. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19015>
- Richardson, E. C. y Herd, R. M. (2004). Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(5), 431. <https://doi.org/10.1071/EA02221>
- Theurer, C. B., Huber, J. T., Delgado-Elorduy, A. y Wanderley, R. (1999). Invited Review: Summary of Steam-Flaking Corn or Sorghum Grain for Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 82(9), 1950–1959. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75431-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75431-7)
- Yu, P., Huber, J. T., Theurer, C. B., Chen, K. H., Nussio, L. G. y Wu, Z. (1997). Effect of Steam-Flaked or Steam-Rolled Corn with or Without *Aspergillus oryzae* in the Diet on Performance of Dairy Cows Fed During Hot Weather. *Journal of Dairy Science*, 80(12), 3293–3297. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76304-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76304-5)
- Zhong, R. Z., Li, J. G., Gao, Y. X., Tan, Z. L. y Ren, G. P. (2008). Effects of Substitution of Different Levels of Steam-Flaked Corn for Finely Ground Corn on Lactation and Digestion in Early Lactation Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 91(10), 3931–3937. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0957>

Anexos

Anexo A

Primer día de alimentación con tratamientos



Anexo B*Pesaje de maíz rolado*

Anexo C*Aforo de pasto*

Anexo D

Corte de pasto en partículas pequeñas para cálculo de materia seca



Anexo E

Pasto cortado, pesando 100 g



Anexo F*Obtención de materia seca de pasto*

Anexo G*Recolección de muestras de heces*

Anexo H

Análisis de muestras de heces en tamizador Nasco®



Anexo I

Resultados de las tres cribas del tamizador, tratamiento maíz roado



Anexo J

Resultado de las tres cribas tratamiento control



Anexo K*Recolección de muestras de leche*

Anexo L*Análisis de muestras de calidad de leche*

Anexo M

Perfil nutricional

Nutrientes	Tratamiento	
	Control (MS)	Maíz Rolado (MS)
MS (%)	87.41	87.02
PC (%)	21.50	23.09
Energía Neta para Lactancia (Mcal/Kg)	2.03	2.03
CNF (%)	52.00	50.04
Azúcar (%)	9.20	9.72
Almidón (%)	37.00	33.45
EE (%)	6.70	5.51
Cenizas (%)	9.00	9.50
FDA (%)	5.50	5.70
aNDFom (%)	11.20	11.40
Ca (%)	1.01	1.09
P (%)	0.52	0.54