Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Ingeniería Agronómica

Proyecto Especial de Graduación

Evaluación de diferentes porcentajes de humedad en la rehidratación de maíz (*Zea mays* L.) como alternativa en la alimentación de vacas lecheras

Estudiantes

Blanca Isabela Rivera Acuña

Jonathan Alexis Soto Herrera

Asesores

Marielena Moncada, Ph.D.

Kenia David, M.Sc.

Honduras, octubre 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros 5

Índice de Figura 6

Índice de Anexos 7

Resumen 8

Abstract 9

Introducción 10

Materiales y Métodos 13

Ubicación del Proyecto 13

Quebrado de Maíz 14

Medición de Humedad 14

Rehidratación del Maíz 15

Tratamiento 1 15

Tratamiento 2 15

Tratamiento 3 16

Proceso de Ensilaje 16

Apertura de Microsilos 16

Variables Evaluadas 17

Porcentaje de Humedad (%) 17

Potencial de Hidrógeno (pH) 17

Presencia de Hongos 17

Diseño Experimental y Análisis Estadístico 18

Resultados y Discusión 19

Materia Seca 19

Humedad 19

Potencial de Hidrógeno 20

Proteína 21

Grasa 22

Cenizas 22

Almidón y Azúcar 23

Fibra Cruda 25

Fibra Ácido Detergente 25

Fibra Neutro Detergente 26

Conclusiones 28

Recomendaciones 29

Referencias 30

Anexos 34

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tratamientos con diferentes porcentajes de humedad en la rehidratación de maíz (Zea mays L.) como alternativa en la alimentación de vacas lecheras 13

Cuadro 2 Efecto de la humedad sobre los contenidos de materia seca, humedad y pH, en el ensilado de maíz rehidratado 21

Cuadro 3 Efecto de la humedad sobre los contenidos de proteína, grasa y cenizas, en el ensilado de maíz rehidratado..... 23

Cuadro 4 Efecto de la humedad sobre los contenidos de almidón y azúcar, en el ensilado de maíz rehidratado..... 24

Cuadro 5 Efecto de la humedad sobre los contenidos de fibra, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente, en el ensilado de maíz rehidratado 25

Índice de Figura

Figura 1. Mapa del área a utilizar para la realización de la investigación 13

Índice de Anexos

Anexo A Valores nutricionales del grano de maíz 34

Anexo B Ficha técnica inoculante SiloSolve® 35

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes en la producción agrícola a nivel mundial, siendo parte esencial en la alimentación animal. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la rehidratación y el ensilado de maíz quebrado como método de conservación para la alimentación de vacas lecheras, utilizando diferentes niveles de humedad (20%, 30% y 40%). Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro repeticiones por tratamiento, y se realizó un análisis estadístico mediante el modelo lineal general (GLM) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Las variables analizadas incluyeron materia seca, pH, proteína cruda, almidón, azúcar y fibra. Los resultados indicaron que el aumento de la humedad redujo significativamente el contenido de materia seca y en el nivel de 30% y 40% de rehidratación disminuyó el almidón, incrementando los niveles de azúcar y fibra, especialmente en el tratamiento con 40% de humedad. El pH disminuyó significativamente con el incremento de la humedad. La presencia de proteína se redujo a medida que aumentaba la humedad, mostrando los niveles más bajos en el rehidratado de 30% y 40%, sin embargo, manteniéndose dentro de un rango adecuado. La rehidratación del maíz con niveles controlados de humedad puede ser una alternativa para la alimentación de vacas lecheras.

Palabras clave: Almidón, ensilado, fermentación, maíz quebrado

Abstract

Corn (*Zea mays* L.) is one of the most significant crops in global agricultural production, serving as a key component of animal feed. The current study aimed to evaluate the efficacy of rehydration and cracked corn silage as a conservation approach for feeding dairy cows at different humidity levels (20%, 30%, and 40%), as well as a control treatment without rehydration. The study employed a completely randomized design (CRD) with four replications per treatment. Statistical analysis was conducted using the general linear model (GLM) with a level of significance of $P \leq 0.05$. The factors examined were dry matter, pH, crude protein, starch, sugar, and fiber. The results showed that increasing humidity lowered dry matter and starch content while increasing sugar and fiber levels, particularly in the 40% humidity treatment, indicating lower digestibility. The pH fell significantly with increased humidity, indicating a more vigorous fermentation process. The content of crude protein did not cause significant alterations and remained within an acceptable range. In conclusion, rehydrating corn with controlled humidity levels can be a feasible option for feeding dairy cows, however; fiber management and digestibility must be considered to enhance silage efficiency.

Keywords: Cracked corn, digestibility, fermentation, inoculant, silage

Introducción

El maíz *(Zea mays* L.*)* ha sido uno de los cultivos más importantes en la producción agrícola en el mundo, el cual ha contribuido tanto en la seguridad alimentaria humana como en la producción de forrajes para el consumo animal. Aparte de su relevancia nutricional, la producción de maíz a nivel global es sobresaliente sobre cualquier otro cultivo, con una producción anual de aproximadamente 850 millones de toneladas de maíz en grano, las cuales se cultivan en una superficie de 162 millones de hectáreas, con una producción promedio de 5.2 t/ha. Los mayores productores de maíz son Estados Unidos y China con el 37% y 21% de la producción mundial, respectivamente (Yara, 2024).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2003) define la planta de maíz como un sistema metabólico cuyo producto final es, en lo fundamental, almidón depositado en unos órganos especializados: los granos. El cual aporta una carga energética de alrededor de 365 kcal/100 g en el ámbito de la alimentación destinada para el consumo de rumiantes (Ranum et al., 2014).

Teniendo presente lo mencionado, el ensilaje de maíz es considerado una de las alternativas más importantes para la suplementación de alimento para bovinos, por esto, es fundamental conocer su definición y entender qué ventajas tiene como alternativa de alimentación en las épocas donde no hay crecimiento de pastos de calidad por condiciones ambientales particulares (Valencia, 2020).

Una de las principales ventajas de la alimentación de bovinos con ensilajes, es que ofrece la posibilidad de llenar los requerimientos de los animales, cumpliendo el rol de ajuste en dietas desbalanceadas, y a la vez reducir los costos asociados a la suplementación (San Juan, 2022), esto permite a los productores tener una producción estable y en constante crecimiento ya que reduce las presiones de carga animal en el área de producción, esto significa que no es necesario reducir la cantidad de animales que se pueden alimentar en base a los recursos disponibles. Esto resulta especialmente beneficioso en fincas regulares, donde se busca maximizar la producción sin comprometer la calidad de vida, nutrición y producción de los animales (Villalobos, 2017). Asimismo, tal como lo menciona Flores

(2023), provee una fuente de fibra efectiva con un valor nutricional superior al del heno y henilaje (pasto conservado en un proceso intermedio entre ensilaje y heno).

Para el proceso de ensilaje, se requiere un ambiente anaeróbico, azúcares solubles, humedad, y una población adecuada de microorganismos con capacidad de fermentación ácido lácticas los cuales juegan un papel clave para el éxito del proceso de conservación. El empleo de inoculantes provoca la producción de ácidos grasos volátiles, lo que redunda en una mayor calidad del alimento y estabilidad aeróbica una vez abierto el silo (Saide, 2017). Estos a su vez se dividen en microorganismos benéficos (bacterias ácido-lácticas) e indeseables (clostridios, enterobacterias, levaduras, etc.), también ayudan a reducir la pérdida de materia seca y mejora las propiedades nutricionales del ensilaje (Severo et al., 2020). Es importante mencionar que estos últimos causan deterioro al ensilaje tanto aeróbicamente como anaeróbicamente (Gualoto, 2013) y dicho proceso puede tardar entre una y cinco semanas (Chalkling, 2006).

Partiendo de esto, el método de conservación con maíz rehidratado ensilado consiste en la adición de agua al maíz molido, hasta alcanzar un nivel óptimo de humedad. Luego, se almacena en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno), en rangos de 25 a 60 días normalmente (Bitencourt, 2012).

Con respecto a los beneficios del maíz rehidratado, el mismo presenta ventajas sobresalientes en cuanto a digestibilidad en comparación con el maíz tradicional sin humectar esto se debe a que, la capa proteica (capa almidón-proteína) que envuelven el grano es una barrera física superior para el rumen en estado seco, impidiendo la exposición de almidones hacia los fluidos ruminales. Lo anterior, resulta en una mejor fermentación microbiana y una mayor digestión del almidón cuando se realiza la hidratación previa. Además del contenido de humedad, otro factor que puede incidir en la degradación de la capa almidón-proteína en el grano de maíz es el tiempo prolongado de ensilaje del maíz (Ferraretto et al., 2014).

Salas et al. (2019) afirman que el tratamiento del grano mediante métodos como el quebrado, molido, ensilado o vaporizado, mejora la digestibilidad total del almidón. Este efecto está asociado a que se incrementa el tiempo de digestión en el rumen por la exposición física de los almidones al liquido ruminal. Sin embargo, Un procesamiento más intensivo no siempre garantiza una mayor respuesta productiva, ya que esta dependerá de factores como la cantidad y calidad de grano en la dieta, el contenido de fibra y el tamaño del animal que lo consume (Depetris, 2013).

De acuerdo con García (2021) y Machado et al. (2019), al romper el grano de maíz en partículas más pequeñas permite aumentar la superficie de contacto y la adhesión de bacterias y enzimas ruminales lo que incrementa la digestibilidad del almidón en el tracto digestivo total. Las partículas más grandes presentan una mayor resistencia de la matriz proteica a la infiltración de agua y al acceso de las enzimas que descomponen el almidón, tanto por los microorganismos en el rumen como por las enzimas en el intestino delgado de las vacas. No obstante, una reducción excesiva del tamaño de las partículas puede aumentar significativamente la disponibilidad de almidón y causar problemas digestivos, como la acidosis ruminal.

El maíz rehidratado ensilado contribuye al mejoramiento de los índices productivos de granjas comerciales, principalmente está asociado al incremento en los índices productivos primarios, como la ganancia de peso, la conversión alimenticia y la producción. Esto se debe a que el maíz proporciona una fuente de energía altamente digestible para los animales (García, 2021).

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la rehidratación y el ensilado de granos de maíz (*Zea mays* L.) partido como método de conservación, utilizando diferentes niveles de humedad (20%, 30% y 40%), y evaluar su impacto en el perfil nutricional del producto final.

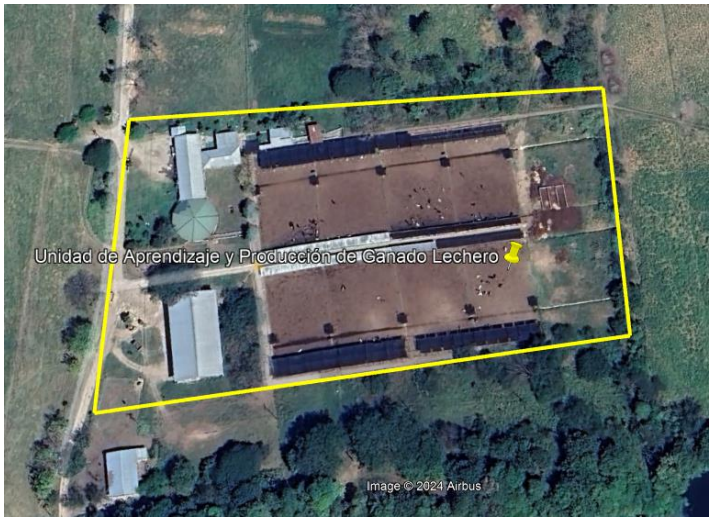
Materiales y Métodos

Ubicación del Proyecto

Este proyecto se llevó a cabo en la Unidad de Aprendizaje y Producción de Ganado Lechero de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada a 30 km al este de Tegucigalpa, en el Valle de Río de Yegüare, Municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. La zona cuenta con una temperatura anual promedio de 26 °C, precipitación anual de 1100 mm y altura de 800 msnm.

Figura 1

Mapa del área a utilizar para la realización de la investigación



Cuadro 1

Tratamientos con diferentes porcentajes de humedad en la rehidratación de maíz (Zea mays L.) como alternativa en la alimentación de vacas lecheras

Tratamiento	Humedad Inicial (%)	Bacterias ácido-lácticas (g) SiloSolve® FC	No. de Réplicas	Peso inicial del maíz (kg)
Rehidratado 20%	10.15	1	4	50
Rehidratado 30%	10.15	1	4	50
Rehidratado 40%	10.15	1	4	45

Partiendo de la información presentada en el Cuadro 1, el cual indica que para este proyecto se usaron tres tratamientos completos y un testigo, cada uno con cuatro repeticiones a excepción del testigo que contaba con dos repeticiones, sumando un total de 14 unidades experimentales. El testigo contó con una humedad inicial de 10.75% la cual se utilizó como punto de partida para medir la cantidad de agua que se adicionaría a los tratamientos, de esta forma llegar a la humedad propuesta para cada uno de los tratamientos, a este no se le adicionó agua, bacterias acido lácticas o se dejó ensilado durante el periodo de desarrollo del proyecto. Para el tratamiento 1 de 20% de humedad, para el tratamiento 2 de 30% y para el tratamiento 3 de 40%, se utilizaron distintas cantidades de maíz quebrado. En los dos primeros tratamientos se utilizaron 50 kg de maíz respectivamente y por otro lado el testigo y el tratamiento 3 de 40% de humedad se utilizaron 45 kg de maíz quebrado. La adición de las bacterias acido lácticas (SiloSolve® FC) fue de 1 g para cada uno de los tres tratamientos, para luego ser ensilado durante 40 días.

Quebrado de Maíz

Para este experimento se utilizaron 190 kg de maíz provenientes de la Planta de Alimentos Concentrados de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. El grano fue partido en la unidad de Control Biológico de la institución, utilizando un molino de discos Penagos® modelo MDP 60, con una capacidad de procesamiento de 80 a 150 kg/hora. Este molino, adaptado para las actividades de la unidad, contaba con un motor eléctrico de 3 hp (caballos de fuerza) que opera con un voltaje de 115/230. Se ajustó el molino para que los granos se quebraran en un rango de 2.5-3 mm cada una.

Medición de Humedad

Se determinó partiendo del porcentaje de humedad inicial del maíz quebrado que fue 10.15%. Para determinar la cantidad de agua añadir, se realizó mediante la ecuación [1], de la diferencia entre la humedad deseada y la humedad inicial, para luego dividir el valor por cien, menos el porcentaje de humedad para determinar la fracción restante se multiplica esto por el peso inicial y se obtiene el número de libras de agua que deberías mezclar con la cantidad de maíz que has reportado.

$$MA = Peso\ inicial\ maíz\ (lb)\frac{(Humedad\ deseada\ (\%) - Humedad\ inicial\ (\%))}{100 - Humedad\ deseada\ (\%)} \quad [1]$$

Donde: MA = Masa de agua a añadir

Formula propuesta por Tabatabaeefar (2003)

Es muy importante mencionar que la cantidad de agua propuesta sufrió distintos cambios entre tratamientos para alcanzar el porcentaje de humedad que se deseaba para cada uno de ellos (20%, 30%, 40%).

Para la determinación de la materia seca (MS) se tomaron muestras del maíz quebrado, se pesaron 5 g y se introdujeron en una balanza de humedad Adam® AMB50. El cálculo se realizó utilizando la fórmula [2] para MS (%) descrita por Top Fodder (2008).

$$MS(\%) = \frac{Peso\ final}{Peso\ inicial} \times 100 \quad [2]$$

$$Humedad(\%) = 100 - MS(\%)$$

Donde: MS (%) = Porcentaje de Materia Seca

Rehidratación del Maíz

Para los tres tratamientos se utilizó una cantidad de agua (sin cloro) determinada por la ecuación mencionada anteriormente [2], para alcanzar la humedad necesaria para cada uno de los tres tratamientos, donde en un recipiente grande, limpio y libre de cualquier residuo contaminante, se le agregó 1 g del inoculante SiloSolve® FC, que está compuesto por *Lactococcus lactis* (DSM11037/1k2081) y *Lactobacillus buchneri* (DSM22501/1k20738) a la cantidad de agua correspondiente para cada tratamiento. Cabe resaltar, que se dejó un tratamiento control, al cual no se le agregó agua o bacterias acido lácticas.

Tratamiento 1

Humedad al 20% = 50 kg de maíz y 14 L de agua

Tratamiento 2

Humedad al 30% = 50 kg de maíz y 31.2 L de agua

Tratamiento 3

Humedad al 40% = 45 kg de maíz y 49.8 L de agua

La mezcla de agua e inoculante se distribuyó de manera uniforme sobre el maíz en el recipiente, y se mezcló adecuadamente hasta alcanzar una homogeneidad óptima.

Proceso de Ensilaje

Cada tratamiento se colocó en bolsas plásticas que fueron cuidadosamente compactadas antes de ser atadas, para luego ser almacenadas en cubetas (baldes) de plástico de 20 L bajo condiciones anaeróbicas. Las cuales se sellaron herméticamente con las tapas correspondientes. El proceso de fermentación y rehidratación del maíz tuvo una duración de 40 días.

Apertura de Microsilos

Después de 40 días del proceso de ensilaje, se abrieron las 12 cubetas que contenían los tratamientos. Una vez que se verificó que las propiedades fisicoquímicas del ensilaje eran adecuadas, de acuerdo con los parámetros sensoriales como olor, color y textura, los que se tomaron mediante apreciación visual. Para el tratamiento de 20% de humedad se pudo apreciar un maíz quebrado con un color amarillo intenso, el tratamiento con 30% de humedad mostró una apariencia menos amarilla y, por otro lado, el tratamiento con 40% de humedad evidenció tono amarillo pálido.

Se recogieron muestras de cada una de las 12 unidades experimentales que estaban contenidas en las cubetas y las dos muestras del testigo. Según la metodología descrita por Silva et al. (2016), para asegurar la representatividad de las muestras, se tomaron de los tres perfiles del balde, superior, media y fondo de este, utilizando guantes y manos limpias, y se mezclaron uniformemente en un recipiente limpio. Posteriormente, se almacenaron aproximadamente 400 g de la mezcla homogénea en bolsas Ziploc®, que se colocaron en una hielera para evitar la pérdida de humedad. En el laboratorio se hicieron pruebas analíticas de NIRS (Espectroscopia del Infrarrojo Cercano) de las variables que tiene el material de ensilaje evaluado en cada tratamiento.

Variables Evaluadas

Es importante resaltar que la humedad *in situ* se tomó tanto en el laboratorio de Control Biológico de la Escuela Agrícola Panamericana, como en el laboratorio Nutrotal, ubicado en El Salvador, en el cual también se realizó el análisis bromatológico con las siguientes variables: materia seca (MS), proteína cruda (PC), grasa, fibra cruda, almidón, fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), azúcar y ceniza.

Porcentaje de Humedad (%)

La humedad *in situ* se tomó en el laboratorio de Control Biológico de la Escuela Agrícola Panamericana. Al momento de la apertura de los microsilos, se tomaron muestras de 5 g para medir el porcentaje de humedad utilizando una balanza Adam® AMB 50. Las muestras se colocaron una por una en el platillo previamente tarado, en el modo No. 1, alcanzando la maquina una temperatura de 110 – 111 °C.

Potencial de Hidrógeno (pH)

Para realizar los análisis de pH del maíz rehidratado, se llevó a cabo en el laboratorio de Cultivo de Tejidos de la Escuela Agrícola Panamericana. La evaluación se realizó tomando muestras de 20 g de cada uno de los tratamientos al momento que se abrieron los baldes. Estas muestras se licuaron por un minuto con 100 mL de agua destilada hasta lograr una combinación acuosa y se dejó reposar por 30 minutos. Luego, se separó la parte solida de la líquida para realizar la medición del pH con un potenciómetro digital Bante PHscan20, previamente calibrado con soluciones buffer (pH 7 y pH 4) y lavándolo adecuadamente con agua destilada entre cada lectura de las muestras (Cherney y Cherney, 2003).

Presencia de Hongos

La presencia de hongos se registró visualmente para determinar si había presencia o no de esta variable. No se mostraron presencias de manchas negras o verdes que indicaran que las unidades experimentales tenían hongos.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones por cada uno, a excepción del tratamiento testigo donde solo se realizó dos repeticiones. Se utilizó un modelo lineal general (GLM), el cual permite realizar un análisis de varianza (ANDEVA) para evaluar las diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Además del ANDEVA, se aplicó una separación de medias Duncan para identificar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Los datos experimentales son referentes al contenido de materia seca, humedad, pH, proteína, grasa, cenizas, almidón, azúcar, fibra, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el modelo lineal general (GLM) de SAS® Academic.

Resultados y Discusión

A través de la observación visual, se confirmó que no hubo crecimiento de hongos durante el proceso de rehidratación. Esto puede atribuirse a dos razones principales. En primer lugar, el uso del inoculante SiloSolve® FC, que según Anasac (2021), favorece la creación rápida de condiciones anaeróbicas, previniendo así el desarrollo de hongos, mejorando la estabilidad aeróbica y reduciendo la pérdida de materia seca, lo que promueve una fermentación adecuada y estable. En segundo lugar, la mezcla homogénea realizada antes del ensilado, ya que, como mencionan Faustino et al. (2018), si el maíz no se mezcla de manera vigorosa para incorporar adecuadamente el agua, la hidratación del grano puede no ser óptima, lo que podría favorecer el crecimiento de hongos y la pérdida del ensilado.

Materia Seca

La materia seca es un indicador de la porción de nutrientes disponibles para los animales sin la interferencia del contenido de agua. En este estudio, se observó que los contenidos de MS fueron significativamente influenciados por el porcentaje de humedad de cada uno de los tratamientos, mostrando una reducción conforme se incrementaba la cantidad de humedad, ejemplo claro fue el tratamiento con 40% de humedad que tuvo el valor más bajo de MS (70.19%). Estos resultados coinciden con el estudio de Kung et al. (2018), quienes reportan que a mayor contenido de humedad en el ensilaje, se incrementa la actividad microbiana, lo que resulta en una mayor descomposición de la materia seca. Este efecto puede deberse a la fermentación activa y a la producción de efluentes, lo cual reduce la disponibilidad de materia seca útil en el ensilaje (Pratti et al., 2019).

Humedad

La humedad en el ensilado es crucial para permitir una fermentación efectiva y controlar la actividad microbiana. En este estudio, el tratamiento con 20% mostró el menor porcentaje de humedad con 22.24%, mientras que el tratamiento con 40% alcanzó el mayor valor con 38.87%. Este aumento en la humedad es consistente con la mayor cantidad de agua añadida en los tratamientos rehidratados, como se esperaba. Tal como lo indica Muck (2010), un contenido adecuado de humedad favorece el crecimiento

de bacterias ácido-lácticas, esenciales para la producción de ácidos orgánicos que preservan el ensilaje. No obstante, niveles de humedad excesivos pueden producir pérdidas de nutrientes a través del efluente generado, lo que afecta la calidad del ensilaje a largo plazo (Yahaya et al., 2002).

Potencial de Hidrógeno

La reducción del pH observada en el proceso de ensilaje es notable, variando desde 4.51 para el rehidratado de 20%, hasta 4.2 para el tratamiento con 40%, lo que indica una mayor actividad fermentativa debido al ambiente favorable (fermentación anaeróbica, humedad, compactación, azúcares disponibles, etc.) para el desarrollo de bacterias lácticas (Rezende et al., 2014). Según Muck (2010) a partir del momento en que se establecen las condiciones anaeróbicas en el ensilaje, las bacterias ácido-lácticas crecen rápidamente, convirtiéndose en los microorganismos dominantes, produciendo ácidos orgánicos a través de la fermentación de los azúcares, provocando una disminución en los valores del pH.

El valor de pH adecuado depende principalmente del contenido de MS del material ensilado. Jobim et al. (2007) señalan que actualmente el valor del pH del ensilaje debe usarse como criterio para analizar la calidad de la fermentación, ya que los ensilajes con bajo contenido de humedad tienen valores de pH altos, superiores a 4.2, números que anteriormente se utilizaban para clasificar el ensilaje como de baja calidad. De acuerdo con Biaggioni et al. (2009), se demostró que el pH ideal para un ensilaje de maíz rehidratado de alta calidad debe estar entre 3.8 y 4.5 para una conservación efectiva.

Neumann et al. (2007), proponen una clasificación de la calidad del proceso de fermentación del ensilaje con relación al valor de pH asociado al contenido de MS, donde los ensilajes con contenidos de MS superiores al 40% tienen puntuaciones más altas con relación a la calidad de fermentación con valores de pH que varían de 4.6 a 4.8. Los valores de pH de 4.8 a 5.2 tienen una puntuación promedio (Cuadro 2).

En los resultados obtenidos muestra que existen diferencias ($P \leq 0.05$) en las variables de materia fresca, humedad y pH.

Cuadro 2

Efecto de la humedad sobre los contenidos de materia seca, humedad y pH, en el ensilado de maíz rehidratado

Tratamiento	Materia seca (%)	Humedad (%)	pH
Testigo 10.15%	86.27[a]	13.73[a]	6.42[a]
Rehidratación 20%	77.76[b]	22.24[b]	4.51[b]
Rehidratación 30%	66.48[c]	33.52[c]	4.24[c]
Rehidratación 40%	61.13[d]	38.87[d]	4.2[c]
C.V. (%)	0.6	2.13	1.73
Valor P	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Nota. C.V. (%) = Coeficiente de variación; Valor P ≤ 0.05: probabilidad

Proteína

El maíz rehidratado ensilado presenta unos niveles de proteína total que suelen ser un poco más bajos que otros ensilados, por ejemplo, las leguminosas oscilan entre el 15% y el 25%, por lo otro lado, el ensilado de maíz rehidratado generalmente presenta un rango entre el 7% y el 10% de proteína. Cabe resaltar que los valores mencionados anteriormente indican la cantidad total de nitrógeno que está presente en la muestra, pero no distingue entre proteínas de otro tipo de fuentes. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, los valores de proteína obtenidos en el estudio están en el rango óptimo (Gordon y McMurray, 2010).

Por otro lado, la degradación de las proteínas durante la fermentación anaeróbica es un proceso bioquímico bastante complejo, que involucra las actividades de la proteasa vegetal, enterobacterias, clostridios, etc. (Zhao et al., 2023). Las enterobacterias son organismos anaeróbicos facultativos considerados en su mayoría como no patógenos (Severo et al., 2020). Pese a esto, su desarrollo en el ensilaje es perjudicial, ya que estas compiten con el clostridio por los azúcares disponibles y degradan las proteínas (Mannetje y Batello, 2001). Sin embargo, el clostridio presenta características similares a las enterobacterias, pero este, puede llegar a fermentar tanto carbohidratos como proteínas, lo cual reduce el valor nutritivo del ensilaje.

Como lo menciona Lallemand Animal Nutrition (2024), los ensilados con valores bajos de proteína indican que la conservación del maíz ha sido buena y que la proteína ha estado protegida durante el

periodo de ensilado, valores mayores al >12 indican que la fermentación fue mala y que las proteínas se han degradado a amoníaco, lo cual reduce el valor nutritivo del ensilaje.

Grasa

En cuanto a la grasa, el comportamiento es inverso en comparación a la variable anterior. La grasa aumenta directamente proporcional con la cantidad de humedad presente en los tratamientos. Los resultados obtenidos muestran que el rehidratado con 20% tuvo un 4.05% de grasa y por otro lado el tratamiento con 40% de humedad tuvo un 5.25% de grasa, siendo estas diferencias significativas ($P \leq 0.05$). El incremento en los niveles de grasa con respecto al aumento en los niveles de rehidratación puede estar asociado. Según Pahlow et al. (2003), los granos de maíz son ricos en sacáridos durante el ensilaje, lo cual permite que el crecimiento de bacterias lácticas aumente las concentraciones de ácidos grasos en ensilajes con mayor cantidad de agua, indicando que la fermentación se realizó de forma adecuada.

Cenizas

Las cenizas representan el total del contenido de minerales del ensilado, el cual arrojó en los análisis del laboratorio diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). El contenido de cenizas en el rehidratado con 20% fue el menor entre los tratamientos (1.75%), en comparación con el incremento de humedad de los otros cuatro tratamientos, siendo el de 40% de humedad el más alto (3.75%). Esto se debe a que el aumento de humedad en los tratamientos la materia seca disminuye y las cenizas no se pierden durante la rehidratación, por lo tanto, estas con respecto a la materia seca aumentan en bajo porcentaje. Oude et al. (2021) propone que entre mayor es la humedad presente en el ensilado, esta puede causar una distribución de los minerales dentro de la matriz del grano diferentes a las vistas en otros análisis, lo cual aumenta la concentración de cenizas presentes en el ensilado.

Esto se puede deber a que los tratamientos donde se obtuvo un 30% y 40% de humedad, presentaron mayores valores que los demás tratamientos planteados en este estudio. Según Lallemand Animal Nutrition (2024) los niveles normales de cenizas en el ensilado deben estar entre el 6% y el 8%

(Cuadro 3). En los resultados obtenidos muestra que existen diferencias (P ≤ 0.05) en las variables de proteína, grasa y cenizas

Cuadro 3

Efecto de la humedad sobre los contenidos de proteína, grasa y cenizas, en el ensilado de maíz rehidratado

Tratamiento	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)
Testigo 10.15%	8.49[a]	3.96[a]	1.3[a]
Rehidratación 20%	8.55[a]	4.05[a]	1.75[b]
Rehidratación 30%	7.79[b]	5.02[b]	2.73[c]
Rehidratación 40%	7.51[b]	5.25[b]	3.15[d]
C.V. (%)	3.97	6.45	4.78
Valor P	0.0081	0.0016	<0.0001

Nota. C.V. (%) = Coeficiente de variación; Valor P ≤ 0.05: Probabilidad

Almidón y Azúcar

Los datos presentados indican que, a medida que aumenta el contenido de humedad en el maíz rehidratado, se observa una disminución en el porcentaje de almidón y un aumento en el porcentaje de azúcar. En el tratamiento de 20%, el contenido de almidón fue de 72.15%, mientras que en el tratamiento con 40% de humedad, este se redujo a 66.1%. Por otro lado, el contenido de azúcar pasó de 1.89% en el rehidratado de 20% a 12.58% en el tratamiento con 40% de humedad.

El comportamiento observado puede explicarse por los procesos de fermentación y degradación en el ensilado. A medida que se incrementa la humedad en el ensilado, las condiciones anaeróbicas favorecen la actividad microbiana, particularmente de bacterias lácticas (Xu et al., 2024), que utilizan el almidón como sustrato para la producción de ácidos lácticos y otros productos fermentativos. Esto provoca una disminución en el contenido de almidón disponible, lo que explica la caída observada en los tratamientos con mayor humedad. Asimismo, al aumentar la humedad, el ambiente favorece una mayor hidrólisis de polisacáridos complejos (como el almidón) en azúcares simples, como la glucosa, lo que explica el aumento en el contenido de azúcar. Este proceso es conocido como sacarificación, y su intensidad está relacionada con la disponibilidad de agua, que facilita la acción de las enzimas hidrolíticas y la fermentación microbiana (Borreani et al., 2018).

Muck et al. (2018) afirman que el incremento en los niveles de azúcar también es una indicación de un proceso de fermentación más activo, ya que los microorganismos presentes convierten los carbohidratos complejos en formas más simples, un aspecto esencial para la mejora en la digestibilidad y aprovechamiento energético del forraje por parte del ganado.

Kung et al. (2018) confirman que un aumento en la humedad del ensilado promueve una mayor producción de azúcares fermentables debido a la degradación de carbohidratos complejos. De igual manera, destaca que, en ensilados con altos niveles de humedad, el contenido de almidón disminuye debido a la mayor actividad enzimática y microbiana.

El almidón brinda a las dietas una gran cantidad de energía que se digiere fácilmente (Demanet, 2017). Sin embargo, es importante considerar un límite máximo de almidón para mantener un rumen saludable. En este mismo contexto, los azúcares se definen como carbohidratos solubles en agua e incluyen monosacaridos, disacaridos y oligosacaridos (Hall, 2019). Si bien, almidon y la fibra son los principales carbohidratos de la dieta de las vacas, los azucares pueden ser una fuente de energia alternativa, impactando tanto en la fermentacion ruminal como la productividad animal (Oba, 2011).

La mayor reducción de almidón puede estar relacionada con una mejor calidad del ensilaje, ya que puede interpretarse como una mejor conversión de azúcares en ácidos orgánicos, importantes agentes de conservación del ensilaje (Biaggioni et al., 2009). La proteólisis durante el almacenamiento en silos rompe lentamente la matriz proteica que rodea los granulos de almidón, de modo que la digestibilidad del almidón aumenta con el tiempo de almacenamiento (Ferraretto et al., 2014) (Cuadro 4). Se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) en el porcentaje de almidón y azúcar en los tratamientos experimentales (Cuadro 4).

Cuadro 4

Efecto de la humedad sobre los contenidos de almidón y azúcar, en el ensilado de maíz rehidratado

Tratamiento	Almidón (%)	Azúcar (%)
Testigo 10.15%	74.27[a]	0.77[a]
Rehidratación 20%	72.15[a]	1.89[b]
Rehidratación 30%	67.56[b]	7.76[c]

Tratamiento	Almidón (%)	Azúcar (%)
Rehidratación 40%	66.1[b]	12.58[d]
C.V. (%)	2.25	6.24
Valor P	0.0011	<0.0001

Nota. C.V. (%) = Coeficiente de variación; Valor P ≤ 0.05: probabilidad

Fibra Cruda

En el caso de la fibra cruda, observamos una tendencia creciente a medida que aumenta la humedad. Este crecimiento podría ocurrir debido a la rehidratación, la cual provoca una mayor degradación de azúcares y otros compuestos solubles, lo que deja una mayor proporción de fibra en el ensilado. La alta humedad también puede promover la proliferación de microorganismos que descomponen sustancias fermentables más simples, lo que resulta en una mayor cantidad de fibra total restante (García Chávez et al., 2022) (Cuadro 5).

Cuadro 5

Efecto de la humedad sobre los contenidos de fibra, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente, en el ensilado de maíz rehidratado

Tratamiento	Fibra (%)	Fibra Ácido Detergente (%)	Fibra Neutro Detergente (%)
Testigo 10.15%	2.19[ab]	4.15[a]	11.34[a]
Rehidratación 20%	1.9[b]	4.64[a]	15.54[b]
Rehidratación 30%	2.58[ac]	7.37[b]	35.18[c]
Rehidratación 40%	2.98[c]	10.46[c]	46.65[d]
C.V. (%)	12.66	4.22	2.73
Valor P	0.0088	<0.0001	<0.0001

Nota. C.V. (%) = Coeficiente de variación; Valor P ≤ 0.05: probabilidad

Fibra Ácido Detergente

Con respecto a la Fibra Acido Detergente (FAD), que está estrechamente relacionado con la fracción no digestible del forraje, su incremento tiene un impacto directo en la digestibilidad y el contenido energético del alimento. Mientras mayor es el contenido en FAD menor es la digestibilidad del alimento y la energía que contendrá (Ganadería Sostenible, 2014). La FAD mide principalmente la celulosa (polisacarido de cadena larga que se encuentra mayormente en las partes fibrosas del grano, como el pericarpio) y la lignina (polímero que se encuentra depositado entre las fibras de las paredes celulares),

componentes de baja digestibilidad, que también aumenta significativamente con el incremento de la humedad. Este aumento podría explicarse porque el proceso de rehidratación y fermentación en ensilado promueve una mayor solubilización y pérdida de hemicelulosa y otros compuestos más solubles, lo que deja una mayor concentración relativa de FAD en el material ensilado (Huang et al., 2021).

Fibra Neutro Detergente

En cuanto al valor de Fibra Neutro Detergente (FND) es una medida en porcentaje de las fracciones de fibra que se encuentran en el ensilado, como la hemicelulosa, la celulosa y la lignina. La misma está vinculada a las ingestas potenciales y, aunque cierta ingesta de fibra es esencial para mantener la eficiencia del rumen, demasiada puede causar problemas (Lallemand Animal Nutrition, 2024), la cual tambien muestra un patrón de aumento aún más marcado a medida que se incrementa la humedad. Esto puede deberse a la pérdida de componentes no estructurales del maíz, como carbohidratos solubles y proteínas, lo que deja una mayor proporción de fibra estructural. La fermentación también podría estar degradando parcialmente la hemicelulosa, aunque no lo suficiente para compensar la acumulación de fibras menos digestibles como la lignina, lo que explicaría los valores más altos de FND (Grant y Ferraretto, 2018) (Cuadro 5).

Estos resultados sugieren que, aunque un mayor contenido de FAD puede estar relacionado con una mejor digestibilidad del ensilado, el incremento en FND podría limitar el consumo de alimento para las vacas lecheras debido a la reducción en la fracción digestible del forraje. Esto podría comprometer la eficiencia alimentaria si no se manejan adecuadamente las dietas, ya que una mayor concentración de Fibra Neutro Detergente reduce la capacidad de consumo del animal y, en consecuencia, su rendimiento (Shi et al., 2023). Por otro lado, el tratamiento con 20% de humedad mostró niveles más bajos de fibra total, lo cual favorece la preservación de los componentes fermentables y mejora la digestibilidad. Sin embargo, es necesario balancear cuidadosamente los niveles de humedad para maximizar tanto la digestibilidad como la calidad del ensilado, evitando que un exceso de FND limite el consumo (García

Chávez et al., 2022) (Cuadro 5). Se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre los niveles de humedad evaluados en la fibra, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente.

Conclusiones

El rehidratado con 40% resultó ser el más factible, dado el balance adecuado de los componentes de materia seca, almidón, azúcar y fibra, asegurando que las vacas lecheras reciban los nutrientes necesarios para su rendimiento productivo.

La rehidratación de los granos de maíz con diferentes niveles de humedad influyó de manera significativa en la fermentación de este.

Un alto contenido de humedad produjo un pH más bajo, sin salirse del rango ideal para ensilaje de maíz rehidratado, lo que indica una buena conservacion y óptima fermentación.

Recomendaciones

Evaluar el ensilado de maíz rehidratado en la alimentación de vacas lecheras y analizar el impacto en producción y la calidad de la leche.

Para futuras investigación realizar un análisis de digestibilidad *in vivo* o *in vitro*.

Realizar análisis utilizando técnicas de química húmeda para obtener datos más precisos acerca de la composición nutricional y de cómo interactúan los nutrientes del ensilaje en el rumen.

Evaluar diferentes tiempos de fermentación, además de los 40 días utilizados, para determinar si tiempos más cortos o largos pueden mejorar la preservación de nutrientes y la estabilidad aeróbica del ensilado.

Referencias

Anasac. (2021). *SiloSolve FC: Inoculante para mejorar la fermentación y la estabilidad aeróbica del ensilado*. https://www.anasac.cl/agropecuario/wp-content/uploads/SiloSolve_FC_web.pdf

Biaggioni, M. A. M., Lopes, A. B. d. C., Jasper, S. P., Berto, D. A. y Gonçalves, E. V. (2009). Qualidade da silagem de grão úmido em função da temperatura ambiente e pressão interna de armazenagem. *Acta Scientiarum. Agronomy*, *31*(3). https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.325

Bitencourt, L. (2012). *Substituição de milho moído por milho reidratado e ensilado ou melaço de soja em vacas leiteiras* [Tesis de pregrado]. Universidade Federal de Lavras, Brasil. http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/575/1/TESE_Substitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20milho%20mo%C3%ADdo%20por%20milho%20reidratado%20e%20ensilado%20ou%20mela%C3%A7o%20de%20soja%20em%20vacas%20leiteiras.pdf

Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J. y Muck, R. E [R. E.] (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, *101*(5), 3952–3979. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837

Chalkling, D. J. (Ed.). (2006). *Silos de Grano Húmedo: Confección, Conservación, Costos y Utilización en Jos sistemas productivos: Ensilaje de grano húmedo* (2ª ed.). La estanzuela. http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16567/1/INIA-SAD-480-Feb-2007.pdf

Silage Science and Technology (Vol. 42). (2003). https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c4

Demanet, R. (2017). Ensilaje de Maiz "tiempo entre sellado y apertura". *Engormix*. https://www.engormix.com/lecheria/silaje-maiz/ensilaje-maiz-tiempo-entre_a41230/

Depetris, G. (2013). Valor nutricional del grano y ensilaje de maíz en la alimentación de bovinos para carne. *Anales De La ANAV*, *XVII*, 59–68. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47597

Faustino, T. F., Dias e Silva, N. C., Leite, R. F., Silva, F. F. G., Florentino, L. A. y Rezende, A. V. (2018). Utilização da silagem de grão de sorgo reidratado na alimentação animal. *Nucleus Animalium*, *10*(2), 47–60. https://doi.org/10.3738/21751463.2892

Ferraretto, L. F., Taysom, K., Taysom, D. M., Shaver, R. D. y Hoffman, P. C. (2014). Relationships between dry matter content, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal in vitro starch digestibility in high-moisture corn samples. *Journal of Dairy Science*, *97*(5), 3221–3227. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7680

Flores, Á. (2023). *Producción de forrajes: heno y ensilaje* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas, Perú]. repositorio.unaaa.edu.pe. https://repositorio.unaaa.edu.pe/bitstream/handle/UNAAA/45/TRABAJO%20DE%20SUFICIENCIA%20PROFESIONAL%20PRODUCCI%c3%93N%20DE%20FORRAJE%20HENO%20Y%20ENSILAJE%20ALVARO%20ARMANDO%20FLORES%20RAMIREZ.pdf?sequence=7&isAllowed=y

Ganadería Sostenible. (2014). *Interpretación del análisis del ensilaje de maíz.* Ganadería Sostenible. https://ganaderiasos.com/interpretacion-del-analisis-del-ensilaje-de-maiz/

García, Á. (2021). Cómo ofrecer maíz a las vacas lecheras, ¿molido o en copos? *Dairy Nutrition & Management*. https://dellait.com/es/como-ofrecer-maiz-a-las-vacas-lecheras-molido-o-en-copos/

García Chávez, I., Meraz Romero, E., Castelán Ortega, O., Zaragoza Esparza, J., Osorio Avalos, J., Robles Jiménez, L. E. y González Ronquillo, M. (2022). Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, *23*(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2547

Gordon, F. J. y McMurray, C. H. (2010). The optimum level of protein in the supplement for dairy cows with access to grass silage. *Animal Science*, *29*(3), 283–291. https://doi.org/10.1017/S0003356100023539

Grant, R. J. y Ferraretto, L. F. (2018). Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, *101*(5), 4111–4121. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13729

Gualoto, A. (2013). *Evaluación del contenido nutricional del silaje de maíz en forma de microsilos inoculado con bacterias ácido lácticas* [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4767/6/UPS-YT00151.pdf

Hall, M. (2019). *Feeding Sugar to Ruminants.* University of Florida. https://dairy-cattle.extension.org/feeding-sugar-to-ruminants/

Huang, Y., Liang, L., Dai, S., Wu, C., Chen, C. y Hao, J. (2021). Effect of Different Regions and Ensiling Periods on Fermentation Quality and the Bacterial Community of Whole-Plant Maize Silage. *Frontiers in Microbiology*, *12*, Artículo 743695, 743695. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.743695

Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A. y Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira De Zootecnia*, *36*(suppl), 101–119. https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013

Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J. y Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages, *101.* https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909

Lallemand Animal Nutrition (2024). Parámetros a tener en cuenta a la hora de analizar un silo. ¿Qué nos puede decir un análisis del silo? *Vaca Pinta*(43), 106–110. https://vacapinta.com/media/files/fichero/vp043_castelan_lr-106-111.pdf

Machado, W., Paranhos, M., Chaves, A., Camargo, F. y Graciano, A. (2019). *Silagem de grão úmido e reidratado na dieta de ruminantes.* Fundação Universidades Federal de Mato Grosso do Sul. https://famez.ufms.br/files/2019/12/SILAGEM-DE-GR%C3%83O-%C3%9AMIDO-E-REIDRATADO-NA-DIETA-DE-RUMINANTES.pdf

Mannetje, L. 't y Batello, C. (2001). *Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos: Memorias de la conferencia electrónica de la FAO sobre el ensilaje en los trópicos*. *Estudio FAO producción y protección vegetal: Vol. 161*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. https://search.worldcat.org/es/title/689497408

Muck, R. E [R. E.] (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira De Zootecnia*, *39*(suppl spe), 183–191. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300021

Muck, R. E [R. E.], Nadeau, E., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C. y 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

Neumann, M., Mühlbach, P. R. F., Nörnberg, J. L., Ost, P. R., Restle, J., Sandini, I. E. y Romano, M. A. (2007). Características da fermentação da silagem obtida em diferentes tipos de silos sob efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho. *Ciência Rural*, *37*(3), 847–854. https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000300038

Oba, M. (2011). Review: Effects of feeding sugars on productivity of lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, *91*(1), 37–46. https://doi.org/10.4141/CJAS10069

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2003). *El maiz en la nutrición humana - Introducción*. https://www.fao.org/4/t0395s/T0395S02.htm

Oude, E., Driehuis, F [F.], Gottschal, J. C. y Spoelstra, S. F [S. F.]. (2021). *Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación - Stefanie J.W.H. Oude Elferink, Frank Driehuis, Jan C. Gottschal y Sierk F. Spoelstra.* Institute for Animal Science and Health. https://www.fao.org/4/x8486s/x8486s04.htm

Pahlow, G., Muck, R. E [Richard E.], Driehuis, F [Frank], Elferink, S. J. W. H. O. y Spoelstra, S. F [Sierk F.]. (2003). *Salinity and Sodicity: Microbiology of Ensiling*. Volume 2 https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2

Pratti, J., Fernandes, T., Cabreira, C., Schmidt, P. y Nussio, L. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, *74*(2), 188–200. https://doi.org/10.1111/gfs.12417

Ranum, P., Peña-Rosas, J. P. y Garcia-Casal, M. (2014). *Global maize production, utilization, and consumption*. https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nyas.12396/epdf.

Rezende, A. V., Rabelo, C. H., Veiga, R. M., Andrade, L. P., Härter, C. J., Rabelo, F. H., Basso, F. C., Nogueira, D. A. y Reis, R. A. (2014). Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Animal Feed Science and Technology*, *197*, 213–221. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.009

Saide, D. (2017). *Efecto de las condiciones de producción de biomasa de bacterias lácticas utilizadas como inoculantes para silos sobre la resistencia a la liofilización* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina. https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1982/8.2.6.pdf

Salas, I., Arriaga, C., Estrada, J., García, A., Rojo, R., Vázquez, J. y Albarrán, B. (2019). Productive and economic response to partial replacement of cracked maize ears with ground maize or molasses in supplements for dual-purpose cows. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, *10*(2), 335–352. https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4569

San Juan, F. (2022). Ensilajes: Costos y Algunas Consideraciones Técnico-Económicas | AGROCOLUN Edición 61. https://agrocolun.cl/ensilajes-costos-y-algunas-consideraciones-tecnico-economicas-61/

Severo, I., Müller, S., Missio, R., Gomes, D., Rieger, R. y Moraes, G. de (2020). Silagem de milho colhida com diferentes alturas e adição de inoculante microbiano e enzimático. *Revista De Ciências Agrárias*. https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/3293/1595

Shi, R., Dong, S., Mao, J., Wang, J., Cao, Z., Wang, Y., Li, S. y Zhao, G. (2023). Dietary Neutral Detergent Fiber Levels Impacting Dairy Cows' Feeding Behavior, Rumen Fermentation, and Production

Performance during the Period of Peak-Lactation. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, *13*(18), 2876. https://doi.org/10.3390/ani13182876

Silva, C., Amaral, P., Baggio, R., Tubin, J., Conte, R., Pivo, C., Krahl, G., Zampar, A. y Paiano, D. (2016). Estabilidade de silagens de grãos úmidos de milho e milho reidratado. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, *17*(3), 331–343. https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000300001

Tabatabaeefar, A. (2003). Moisture-dependent physical properties of wheat. *International Agrophysics*(17), 207–211. https://www.researchgate.net/publication/26552072_Moisture-dependent_physical_properties_of_wheat

Valencia, L. (2020). *Factibilidad para la producción y comercialización de ensilaje a base de maíz (zea mays) y botón de oro (tithonia diversifolia) para la alimentación de bovinos [*Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia Unad, Colombia. https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/34625/1/levalenciag.pdf

Villalobos, L. (2017). *Ensilado: una alternativa para la alimentación de ganado en épocas críticas.* Universidad de Costa Rica. https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/09/20/ensilado-una-alternativa-para-la-alimentacion-de-ganado-en-epocas-criticas.html

Xu, J., Ma, J., Sa, R., Sui, H., Wang, X., Li, Q., Zhu, X., Wu, B., Hu, Z. y Niu, H. (2024). Effects of lactic acid bacteria inoculants on the nutrient composition, fermentation quality, and microbial diversity of whole-plant soybean-corn mixed silage. *Frontiers in Microbiology*, *15*, 1347293. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1347293

Yahaya, M. S., Kawai, M., Takahashi, J. y Matsuoka, S. (2002). The Effects of Different Moisture Content and Ensiling Time on Silo Degradation of Structural Carbohydrate of Orchardgrass. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *15*(2), 213–217. https://doi.org/10.5713/ajas.2002.213

Yara. (2024). *Producción mundial*. https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/maiz/produccion-mundial/

Zhao, J., Jing, Z.-D., Yin, X.-J., Li, J.-F., Dong, Z.-H., Wang, S.-R. y Shao, T. (2023). Insight into the key limiting factors affecting anaerobic fermentation quality and bacterial community of sweet sorghum by irradiation sterilization and microbiota transplant. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *10*(1). https://doi.org/10.1186/s40538-023-00392-w

Anexos

Anexo A

Valores nutricionales del grano de maíz

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)

Humedad	Cenizas	PB	EE	Grasa verd. (%EE)
13.6	1.1	7.3	3.3	90

∑=99.8	FB	FND	FAD	LAD	Almidón	Azúcares
	2.1	9.0	2.8	0.7	63.8	1.7

Nota. PB= Proteína Bruta; EE=; FB= Fibra Bruta; FND= Fibra Neutro Detergente; FAD= Fibra Ácido Detergente; LAD= Lignina Ácido Detergente

Anexo B

Ficha técnica inoculante SiloSolve®

Envase:

- Frasco de 100g.

Formato: Polvo

Solubilidad: Soluble en agua.

Fecha preferente de uso: 24 meses a partir de la fecha de elaboración si se almacena en refrigeración (4°C), 18 meses si se almacena a temperatura ambiente (<20°C).

Aplicación: Un envase de 100 gramos trata hasta 50 toneladas de forraje fresco. Mezcle el inoculante en la cantidad de agua apropiada para su aplicador. Aplique la solución uniformemente sobre el forraje a medida que se cosecha o ensila. Cuando se usa según las instrucciones, 2 gramos de **SILOSOLVE® FC** inoculan 1 tonelada de forraje fresco a una tasa de 150.000 UFC/g de forraje fresco.