

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial De Graduación
**Evaluación de la rehidratación de maíz olote tusa (*Zea mays*) como método
de conservación**

Presentado por

Danna Celeste López Munguía

Asesores

Isidro Matamoros Ochoa, Ph. D

Yordan Martínez Aguilar, D.Sc.

Honduras, julio 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA ODILA TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	4
Índice de Figura.....	5
Índice de Anexos.....	6
Resumen	7
Abstract	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos	12
Ubicación del Estudio.....	12
Tratamientos	13
Modo de preparación y aplicación de Sila-Prime®	13
Variables Medidas	14
Contenido de Materia fresca	14
Potencial de Hidrógeno (pH).....	14
Proteína Cruda	15
Energía Bruta	17
Presencia de Hongos.....	17
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	17
Resultados y Discusión.....	18
Conclusiones.....	23
Recomendaciones.....	24
Referencias	25
Anexos	28

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Efecto de la humedad sobre los contenidos de materia fresca (%), pH, proteína cruda y energía bruta en maíz olote tusa rehidratado.	19
Cuadro 2 Efecto del inóculo sobre los contenidos de materia fresca (%), pH, proteína cruda y energía bruta en maíz olote tusa rehidratado.	20
Cuadro 3 Interacción de humedad e inóculo en variables evaluadas.	21
Cuadro 4 Interacción humedad e inóculo en la variable evaluada presencia de hongos.	22

Índice de Figura

Figura 1 Mapa de áreas a utilizar para la realización de la investigación	12
---	----

Índice de Anexos

Anexo A Presupuesto.....	28
Anexo B Cálculo de humedad de maíz olote tusa a 35%.....	29
Anexo C Cálculo de humedad de maíz olote tusa a 40%.....	30
Anexo D Cálculo de humedad de maíz olote tusa a 45%	31

Resumen

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, parte de esta producción es destinada a la alimentación animal. El objetivo del estudio fue evaluar la rehidratación de maíz lote tusa (*Zea mays*) como método de conservación. Se evaluaron tres tratamientos como niveles de humedad (35%, 40% y 45%) y la adición de inoculante (Sila-Prime®) con su respectivo control para cada humedad, utilizando tres repeticiones por cada tratamiento. Se utilizó un Diseño Completo al Azar (DCA) y se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y las diferencias entre medias se analizaron con nivel de significancia $P \leq 0.05$. Las variables analizadas fueron materia fresca (%), pH, proteína cruda (%) y energía bruta (kcal/kg MS). El análisis del contenido de humedad para los factores principales mostró diferencias significativas en materia fresca y pH, sin mostrar diferencias en el factor inóculo. Las diferencias fueron significativas ($P \leq 0.05$) únicamente para la interacción de los tratamientos humedad e inóculo en las variables materia fresca, pH y proteína cruda. El contenido de humedad mostró diferencias ($P \leq 0.05$) indicando que la rehidratación fue adecuada conforme a lo esperado. En la variable pH se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$), a 35% de humedad se obtuvo el valor más alto con 4.78, entre humedades de 40% y 45% no se encontraron diferencias (4.3 y 4.2). El contenido de proteína cruda mostró diferencias ($P \leq 0.05$), con promedios de 7.53%, 7.27% y 7.41% con la adición de inóculo y 7.21%, 7.34% y 7.45% sin adición de inóculo. El contenido de energía bruta resultó en valores entre 3644.24 y 3937.75 kcal/kg MS, sin mostrar diferencias ($P > 0.05$). No se observó presencia de hongos en ninguno de los tratamientos. Con la información obtenida en este estudio se concluye que los niveles óptimos de humedad para rehidratar maíz lote tusa se encuentran entre 40 y 45%.

Palabras clave: Bacterias ácido-lácticas, ensilaje, fermentación, humedad, inóculo.

Abstract

Corn (*Zea mays*) is one of the most important cereals worldwide, part of this production is destined for animal feed. The objective of the study was to evaluate the rehydration of corn (*Zea mays*) as a preservation method. The treatments evaluated were three moisture levels (35%, 40% and 45%) and the addition of inoculant (Sila-Prime®) with its respective control for each moisture level, using three replicates for each treatment. A Complete Randomized Design (CRD) was used, and an analysis of variance (ANOVA) was performed and the differences between means were analyzed with significance level $P \leq 0.05$. The variables analyzed were fresh matter (%), pH, crude protein (%) and crude energy (kcal/kg DM). Moisture content analysis for the main factors showed significant differences in fresh matter and pH, showing no differences in the inoculum factor. Differences were observed ($P \leq 0.05$) for the interaction of moisture and inoculum treatments in the variables fresh matter, pH and crude protein. Moisture content showed differences ($P \leq 0.05$) indicating that rehydration was adequate as expected. Differences ($P \leq 0.05$) were observed in pH; at 35% moisture, the highest value was obtained with 4.78, and with 40% and 45% moisture, no differences were found (4.3 and 4.2). The crude protein content showed differences ($P \leq 0.05$), with averages of 7.53%, 7.27% and 7.41% with the addition of inoculum and 7.21%, 7.34% and 7.45% without the addition of inoculum. The crude energy content resulted in values between 3644.24 and 3937.75 kcal/kg DM, showing no differences ($P > 0.05$). The presence of fungi was not observed in any of the treatments. With the information obtained in this study, it is concluded that the optimum moisture levels for rehydrating corn cob are between 40% and 45%.

Keywords: Fermentation, inoculum, lactic acid, moisture, silage.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes y el más producido a nivel mundial, parte de esta producción de maíz es destinada a la alimentación animal para los diversos tipos de ganado (Benini et al. 2020). Aproximadamente, el 40% de la producción de maíz en países tropicales es usado como alimento animal y el resto se destina a otros usos como alimento humano (Paliwal 2001). Anualmente se producen 850 millones de toneladas en grano cultivable en 162 millones de hectáreas, con una producción promedio de 5.2 toneladas por hectárea. Los productores más grandes son Estados Unidos y China con un total del 37 y 21% de la producción mundial, y los tres países exportadores principales son EEUU, Argentina y Brasil (Yara 2019).

El maíz tiene un gran aporte nutricional en las dietas de rumiantes, la utilización de este radica en el aporte de energía que se da por medio del almidón, lo cual representa un 75% del peso del grano (Camps y Gonzáles 2003), siendo el rumen el que se encarga de la mayor digestión de este y donde el 60 y 95% es fermentado para producir ácidos grasos volátiles (AGV) o también puede ser incorporado como materia microbiana (James y Tamminga 1991). En los rumiantes el sitio de digestión del almidón determina la partición de la materia orgánica y tiene impacto sobre el consumo de materia seca y sobre la salud ruminal (Sauvant 1997).

El proceso realizado al grano de maíz ya sea quebrado, molido, ensilado o rehidratado aumenta la digestibilidad total del almidón, sin embargo, no siempre un procesamiento va a generar una mayor respuesta productiva, eso depende de diferentes factores como el nivel de grano en la dieta, el porcentaje de fibra y el tamaño del animal al cual se le suministra (Depetris 2013). El maíz molido aumenta la superficie expuesta a la acción microbiana en el rumen, la degradabilidad ruminal del almidón y la digestión. A su vez, entre menor sea el tamaño de la partícula del grano, mayor es el incremento de la degradabilidad ruminal (Depetris 2013).

El maíz es muy importante para los rumiantes, ya que es uno de los granos que más se utilizan en las dietas, por ello el precio y su uso en dietas ha influido notablemente en la actividad ganadera (Benini et al. 2020). La escasez y el incremento del precio de los fertilizantes son factores que

presentan dificultades en la producción de maíz, tanto para los pequeños, como medianos y grandes productores (Olphand [updated 2022]). Sin embargo, el propósito es aumentar la rentabilidad y viabilidad de la producción, en algunos casos los productores optan por implementar tecnologías que ayuden en la nutrición, reducción de costos y a una conservación más eficiente y duradera sin que el alimento pierda su calidad (Benini et al. 2020). Siendo la rehidratación del maíz molido una alternativa para los productores de mejorar las propiedades nutricionales y una práctica de conservación de alimentos para alimentación animal.

El uso de maíz rehidratado empezó a realizarse en Brasil en 1981, se inició con dietas en ganado porcino y posteriormente se implementó en bovinos (Benini et al. 2020). El método de conservación de maíz rehidratado consiste en la adición de agua al maíz molido, logrando un porcentaje de humedad ideal, seguido de un almacenamiento libre de oxígeno (anaeróbico), que permite mejorar el patrón de fermentación y aspectos nutricionales del alimento (mayormente digestibilidad) (Ávila et al. 2019). El proceso puede realizarse en cualquier época del año con el beneficio para los productores de poder rehidratar maíz en su propia granja, asegurando un almacenamiento apropiado del alimento (Bitencourt 2012).

Esta técnica de rehidratación de maíz es una alternativa viable de producción de alimento para los productores a nivel de finca porque hay factores que causan problemas al momento de alimentar, como la escasez de la materia prima o forraje en la época seca del año, precios altos, por lo que optan por tecnologías o innovaciones de manera que el productor o ganadero haga una mejor utilización de la materia prima (Rocha et al. 2019). La floculación aumenta la digestibilidad del almidón a un 98% a 99% al agregar humedad o calor (Gervásio 2021), mejorando así la digestibilidad, con lo que se tienen tasas de sustitución del maíz molido por maíz molido rehidratado y consecuencia a esto mejora el aporte de nutrientes, lo que hace que haya reducción costos. Los primeros parámetros a tomar en cuenta en el análisis del proceso de rehidratación es el contenido de materia seca, pH, proteína cruda y energía bruta, los cuales son datos clave para determinar la calidad del maíz rehidratado (Gingins 2013).

Un alimento alternativo es el maíz olote tusa molido, ya que permite disponer de una fuente alimenticia para los animales sin desperdiciar el desecho de la mazorca de la planta de maíz, de este modo se logra aprovechar al máximo como fuente alimenticia, un manejo adecuado en la elaboración de raciones alimenticias, garantiza un normal suministro de alimento para los animales (Bonilla y Usca 2015)

Para mejorar la calidad del maíz rehidratado y asegurar un óptimo proceso de fermentación se pueden utilizar inoculantes o aditivos bacterianos que, por su alto contenido de carbohidratos aprovechables, favorecen la conservación y calidad del alimento (Tercero y Solano 2015). Los inoculantes son productos biológicos que contienen bacterias vivas viables, que en algunos casos son combinadas con enzimas, las cuales son aplicadas para inocular material cosechado y obtener una buena calidad del ensilaje. Las enzimas generan azúcares que las bacterias utilizan para el desarrollo y a la fermentación. El inoculante Sila-Prime® es un producto hidrosoluble de microorganismos viables que contiene millones de bacterias que producen ácido láctico, bajando el pH del silo a 3.8 a 4.2 durante las primeras 24 a 48 horas de la fermentación (Oliva y Reyes 2017). Por las condiciones de almacenamiento del maíz rehidratado es indispensable lograr patrones de conservación anaeróbica, siendo importante el uso de inoculante, por tal razón el objetivo de esta investigación fue evaluar la rehidratación del maíz olote tusa (*Zea mays*) como método de conservación utilizando tres niveles de humedad (35%, 40% y 45%) y un inoculante de bacterias ácido-lácticas (Sila-Prime®).

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Unidad de Aprendizaje y Producción de Ganado de Carne de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; ubicada en el Valle del Yeguaré, Municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, a 32 km al sureste de Tegucigalpa, Honduras. Las condiciones climáticas presentes en esta zona corresponden a una altitud de 800 msnm, temperaturas y precipitaciones medias anuales de 26 °C y 1,100 mm, respectivamente. Los análisis de Proteína Cruda y Energía Bruta fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ). En la Figura 1 se puede observar cada recuadro con la delimitación del área.

Se utilizaron seiscientos kilogramos de maíz olote tusa (MOT) proveniente de la donación de productores del Valle de Jamastrán en el Municipio de Danlí, departamento del Paraíso, Honduras. La mazorca tapizada (tusa, grano y olote) fue picada con una picadora de precisión JF 60 Maxxium con cribas de 20 y 5 milímetros.

Figura 1

Mapa de áreas a utilizar para la realización de la investigación



Tratamientos

Se utilizó un diseño factorial tipo 3×2 , considerando:

Factor A: tres niveles de humedad (35, 40 y 45%)

Factor B: adición de inoculante (Control vs. Sila-Prime®)

Haciendo un total de seis combinaciones de tratamientos con tres repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales.

Para estimar el porcentaje de humedad requerido mediante la adición de agua se realizaron los siguientes pasos (ecuaciones 1 a 4)

$$MS \text{ rehidratada (\%)} = \text{peso inicial maíz OT (lb)} - \text{humedad requerida} \quad [1]$$

$$\text{Total de mezcla de maíz y agua} = \frac{MS_{MOT}}{\% MS \text{ rehidratada}} \quad [2]$$

$$\text{Humedad obtenida} = \text{total de mezcla maíz y agua} - MS \text{ MOT} \quad [3]$$

$$\text{Humedad requerida} = \frac{\text{humedad obtenida}}{\text{total de mezcla de maíz y agua}} \times 100 \quad [4]$$

Modo de preparación y aplicación de Sila-Prime®

Se utilizó un recipiente limpio y libre de residuos tóxicos

Se disolvió seis gramos de Sila-Prime® en un litro de agua sin cloro

Luego se usó un factor de dilución de 50 mL para un litro de agua, mezclando con los niveles de adición de agua que se utilizaron para el silo.

Se aplicó uniformemente la solución en el maíz lote tusa (MOT)

De acuerdo con los datos obtenidos en el cálculo de adición de agua para llegar al porcentaje de humedad óptimo, se realizó la mezcla de MOT con la cantidad de agua e inoculante requerido, seguidamente, la mezcla fue almacenada en condiciones anaeróbicas en cubetas (baldes) de plástico de 20 L, posteriormente cada cubeta (unidad experimental) fue cerrada herméticamente con

tapaderas una vez que la mezcla fue debidamente compactada. La duración del proceso de rehidratación de MOT tuvo una duración de 28 días.

Variables Medidas

Contenido de Materia fresca

Después del período de almacenamiento, se tomó una muestra representativa de cada repetición de los tratamientos. Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas Ziploc® para evitar la pérdida de humedad y posteriormente se colocaron en bolsas de papel Kraft para ser secadas en un horno industrial Fisher Scientific, modelo 655D a 60 °C durante 72 horas, mezclando las muestras dos veces al día para evitar que se quemen y asegurar un secado uniforme. Las muestras secas fueron utilizadas para el contenido de materia seca, proteína cruda y energía bruta.

La humedad se determinó mediante el contenido de materia seca por diferencia de peso de la muestra, las cuales fueron pesadas recién recolectadas y después de ser deshidratadas. Se calculó con la fórmula para MS (%) (Silva 2012) mediante las ecuaciones 5 y 6:

$$MS(\%): \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad [5]$$

$$\text{Humedad}(\%): 100 - MS(\%) \quad [6]$$

Donde:

MS (%): Porcentaje de Materia Seca

Potencial de Hidrógeno (pH)

La prueba de pH del maíz rehidratado se realizó tomando muestras de 25 g de cada repetición por cada tratamiento. Cada muestra se disolvió en un beaker, donde se colocó el material y se mezcló con 100 mL de agua destilada. La solución acuosa se mezcló constantemente durante una hora, luego, se filtró pasando la solución completa por un tamiz y separando la parte sólida de la líquida para posteriormente realizar la medición del pH con un potenciómetro digital Boeco Portable ph/mv meter,

modelo PT-370, previamente calibrado mediante soluciones buffer (pH 7 y pH 4) (Cherney y Cherney 2015).

Proteína Cruda

Se tomaron dos muestras al azar de cada combinación por tratamiento, con un peso de 50 gramos, pesadas con una balanza de precisión marca OHAUS™ PIONEER™ modelo PX163, utilizando 14 muestras más duplicados, haciendo un total de 28 muestras. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ), para el análisis de Proteína Cruda y Energía Bruta.

El análisis de proteína cruda se evaluó de acuerdo con el método Kjeldahl (AOAC 2002). Para este proceso se molieron las muestras con el fin de reducir el tamaño de la partícula, de manera que se convierta en materia polvosa (1 mm). Una vez obtenidas las muestras en polvo, se pesó 1 g de muestra sobre papel parafina. Para la digestión se utilizó el digestor automático FOSS Tecator™ 20®, el cual eleva la temperatura a 420 °C. Dado que un silo de maíz tiene alrededor de un 8% y 9% de proteína (Mojica 2021), para muestras entre 3% y 25% de proteína, el peso debe de ser 1 g, tal y como se indicó anteriormente. Se envolvieron cuidadosamente y se colocaron dentro de tubos Kjeltec™, para ello es necesario anotar el peso del registro del análisis. Por último, se pesó 1 g de sulfato de amonio en papel que el cual es un control que determina que la destilación se haya realizado adecuadamente, del mismo modo se colocaron dos tubos vacíos con el fin de corregir errores en las demás muestras. Este proceso consta de 3 pasos.

Digestión.

Se colocaron dos tabletas de catálisis en cada tubo del Kjeltec™. Con una pipeta se les agregaron 12 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄). Esto se agrega según el contenido de grasa que tiene el silo de maíz, el cual tiene un valor medio de 3.49% (Lardone 2017). Si es mayor a 10% se le agregan 15 mL. Por último, se procedió a abrir la válvula de agua para extraer los vapores formados y se colocaron los tubos en el digestor por un tiempo de 60 minutos, luego se apagó el digestor, se removieron los tubos y se dejaron enfriar 20 minutos.

Destilación.

Para el proceso de destilación se utilizó el destilador FOSS Kjeltec 8200®. Se colocó un Erlenmeyer de 300 mL y el tubo Kjeltec™ en el lugar correspondiente del destilador. Se corrió el programa #1 Kjeltec™ configurado con los siguientes parámetros.

Tiempo: 4 minutos.

80 mL de agua.

50 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 40%.

30 mL de ácido bórico (H₃BO₃)

Titulación.

Se procedió a cargar la bureta de 50 mL con ácido clorhídrico (HCL) 0.1 M. En un agitador magnético se colocó la muestra destilada del Erlenmeyer y se tituló colocándole gotas lentamente de HCL a la muestra hasta obtener un color violeta. Por último, se anotó el volumen gastado para el registro de análisis de proteína.

Teniendo los datos de la titulación, mediante el uso del software de Microsoft Excel ® se realizaron los cálculos en la hoja de cálculo de proteína cruda, utilizando las fórmulas 7 y 8:

$$N(\%) = NHCL \times \frac{(Tc)}{M} \times \frac{14 \text{ g N}}{\text{mol}} \times 100 \quad [7]$$

$$Proteína(\%): N(\%) \times 6.25 \quad [8]$$

Donde:

Tc: Volumen de ácido corregido (mL obtenidos de la titulación de la muestra – mL obtenidos del blanco)

N: Normalidad del ácido clorhídrico estandarizado

M: peso de la muestra

Contenido de nitrógeno en proteínas: 6.25

Energía Bruta

Esta variable fue estimada utilizando un calorímetro compensado Parr® 6100. En el cual, se llevó a cabo el pesaje de la muestra de 1 g y mediante el uso de balanza de precisión, se pesaron 2000 mL de agua, colocando dentro del calorímetro en un balde de metal. Teniendo el peso anotado, se colocó la muestra sobre el pedestal de la bomba y el hilo o cordel de combustión de manera que esté toque la muestra. Se aplicó 1 mL de agua destilada dentro de la bomba con una pipeta Pasteur y se humedeció el perímetro del o-ring. Se colocó el pedestal dentro de la bomba y se cerró evitando el movimiento, luego se acopló con el dispensador de oxígeno.

Se aplicó oxígeno a 450 PSI y en el calorímetro se seleccionó la opción "llenado de oxígeno" por 57 segundos, pasado ese tiempo se desconectó el dispensador y se insertó la bomba dentro del balde con agua del calorímetro, por último, se colocaron los dos electrodos en la bomba y se cerró el calorímetro. Se seleccionó el botón "Comenzar" y luego "Aceptar" dado que no hubo problema en la inserción de la bomba. Se ingresó el peso de la muestra tomada anteriormente. Verificando los datos una muestra de silo de maíz mayor o igual a 35% de MS, la eficiencia energética debe de ser de 3.76 kcal/100 g (FEDNA 2016).

Presencia de Hongos

Esta variable fue determinada de manera visual anotando la presencia o no de hongos.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se realizó un arreglo factorial 3×2, donde el factor A son los tres niveles de humedad (35%, 40% y 45%) y el factor B es la adición de inoculante (Control vs Sila-Prime®), con tres repeticiones y un total de 18 unidades experimentales. El análisis se realizó mediante un diseño completamente al azar (DCA). La comparación estadística se realizó con los datos obtenidos a través de una Análisis de Varianza (ANDEVA), en el cual las medias fueron separadas por el método de diferencia mínima significativa (LSD y PDIFF) usando una media cuadrática ajustada (LSMEANS), con una probabilidad $P \leq 0.05$, a través del programa SAS® 2021 versión 9.4.

Resultados y Discusión

El contenido de materia fresca resultó diferente ($P \leq 0.05$) entre los niveles de humedad evaluados. Esto evidencia que las estimaciones de la cantidad de agua a agregar en el proceso de rehidratación están acordes a lo planteado (Cuadro 1).

Para la variable pH, el tratamiento de humedad de 35% presentó el mayor valor y difirió de los tratamientos de 40% y 45%, indicando que, a menor contenido de humedad, el pH es mayor y los niveles de acidez no decrecen conforme a lo esperado como un indicador de una adecuada fermentación ácido-láctica llevada a cabo en un proceso de conservación anaeróbico. Sin embargo, en humedades de 35% el proceso de fermentación no es óptimo y se ve reflejado en un pH de 4.78. Según Biaggioni et al. (2009) demostró que el pH ideal para un ensilaje de maíz rehidratado de buena calidad debe estar en el rango de 3.8 a 4.5 para una buena conservación, dentro de estos rangos se encuentran los datos obtenidos en los niveles de humedad de 40% y 45% (Cuadro 1).

Respecto a los factores principales, las variables de proteína cruda y energía bruta no mostraron diferencias ($P > 0.05$) en los tratamientos de 35%, 40% y 45% de humedad. De acuerdo con Velho et al. (2007) el ensilaje de maíz rehidratado debe presentar valores de proteína cruda mayores a 7%. De manera que, los datos obtenidos de PC en la evaluación estuvieron en el porcentaje adecuado. El proceso de fermentación de MOT rehidratado con inoculante no afecta el contenido proteína cruda y energía del material conservado. Sin embargo, este proceso puede modificar la digestibilidad de los almidones, dado el almidón es fuente de energía en la dieta y puede aumentar su aprovechamiento por parte del metabolismo (Rocha et al. 2019) (Cuadro 1).

Cuadro 1

Efecto de la humedad sobre los contenidos de materia fresca (%), pH, proteína cruda y energía bruta en maíz olote tusa rehidratado.

Humedad	Materia fresca (%)	pH	Proteína Cruda (%)	Energía Bruta (kcal/kg MS)
35%	34.21 ^a	4.78 ^a	7.37	3919.40
40%	38.46 ^b	4.30 ^b	7.30	3760.90
45%	44.08 ^c	4.34 ^b	7.43	3698.10
EE	0.44	0.04	0.051	77.48
C.V. (%)	2.80	2.33	2.30	5.60
P	<0.0001	<0.0001	0.3641	0.1257

Nota. EE= error estándar; C.V. (%) = coeficiente de variación; P ≤ 0.05: probabilidad

En los resultados obtenidos en cuanto a la interacción con y sin inóculo muestran que no existen diferencias ($P > 0.05$) en las variables materia fresca, pH, proteína cruda y energía bruta. Lo anterior indica que la adición o la no adición de inóculo, no afecta los parámetros evaluados del maíz olote tusa. No obstante, estos ayudan a asegurar un proceso de fermentación estable, ya que se agregan bacterias ácido lácticas, las cuales inducen el proceso de fermentación de carbohidratos en ácidos orgánicos, que acidifican rápidamente el ensilaje de maíz rehidratado, mejorando la fermentación y estabilidad anaeróbica del producto final (Fonseca y Rodríguez 2019). Además pueden acelerar las fases del proceso fermentativo y lograr una fermentación estable en menor tiempo (Caribbeanprobiotics 2019) y consecuentemente se logra la utilización del producto rehidratado en menor tiempo (Cuadro 2).

Sin embargo, Rocha et al. (2019) argumentan que, el uso de inoculante en el proceso de fermentación anaeróbica de granos rehidratados es una alternativa para modificar el proceso de fermentación, con el objetivo de obtener un ensilaje sin que pierda su calidad nutricional en el proceso de conservación, de tal manera que pueda aumentar la digestibilidad en la floculación de los almidones. Caribbeanprobiotics (2019) menciona que, el uso de inoculante Sila-Prime[®] puede crear un ambiente propicio de fermentación bajo condiciones anaeróbicas, debido a que este suministra una combinación de microorganismos como (*Lactobacillus casei*) que se activan con la humedad, produciendo ácido láctico y reduciendo los niveles de pH. Esto hace también, que haya una

preservación de proteína, contenidos de energía, ácido láctico y adecuado almacenamiento del maíz rehidratado (Cuadro 2).

Cuadro 2

Efecto del inóculo sobre los contenidos de materia fresca (%), pH, proteína cruda y energía bruta en maíz olote tusa rehidratado.

Inóculo	Materia fresca (%)	pH	Proteína cruda (%)	Energía Bruta (kcal/kg MS)
Con inóculo	38.88	4.46	7.40	3790.32
Sin inóculo	38.95	4.49	7.33	3795.27
EE	0.36	0.03	0.042	63.48
C.V. (%)	2.80	2.33	2.30	5.60
P	0.8926	0.5955	0.2917	0.9550

Nota. EE= error estándar; C.V. (%) = coeficiente de variación; $P \leq 0.05$: probabilidad

Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en el porcentaje de materia fresca en los tratamientos experimentales, ya que todos los tratamientos de humedad difirieron entre sí. Sin embargo, estos resultados fueron los esperados al momento de la rehidratación, ya que se esperó llegar a 35%, 40% y 45% respectivamente. En el que hubo un coeficiente de variación de 2.72% en todos los tratamientos de humedad, indicando también que la adición o no de inóculo no influyó en los datos obtenidos. Faustino et al. (2018) argumentan que si la adición de agua en el maíz no es la adecuada en la mezcla, la hidratación no será la ideal ya que puede causar presencia de crecimiento fúngico y por ende, pérdida del material. Tal y como lo indica Rocha et al. (2019), el contenido de humedad a 40% y 45% son los adecuados para obtener un ensilaje idóneo para maíz rehidratado (Cuadro 3).

Se observó que el pH más alto fue con 35% de humedad sin y con inóculo, con valores 4.77 y 4.78 respectivamente, siendo estadísticamente diferente con los demás tratamientos. Asimismo, se mostró el valor más bajo con 4.20 del tratamiento de 40% de humedad con inóculo. Debido a esto, se determinó que a pH más bajo hay mejor fermentación de bacterias ácido-lácticas y, por ende, mayor conservación del maíz rehidratado en un proceso anaeróbico. Tal y como lo indica Neumann et al. (2007) en un estudio realizado afirma que los ensilajes con contenido de humedad de 40% o mayor hay más calidad en la fermentación. Lo que coincide con lo argumentado por Jobim et al. (2007), que el valor de pH es utilizado para determinar la calidad del ensilaje. Por lo que, el pH ideal para

fermentación es de los tratamientos de 40% y 45%, no importando si se le agrega o no inoculante, como los datos obtenidos en este estudio (Cuadro 3).

En el Cuadro 3, se observó que los resultados obtenidos del tratamiento de 35% de humedad con inóculo dio un valor más alto de proteína cruda con 7.53%, a diferencia del que no tiene inoculante que fue el valor más bajo con 7.21%, siendo estos los que tienen más variación a comparación con los tratamientos de 40% y 45% de humedad son y sin inóculo que presentaron datos similares. Sin embargo, estos porcentajes dada su diferencia no afectan el valor de la proteína debido a que es mínimo, según Velho et al. (2007) el porcentaje de proteína cruda es el adecuado como valor mínimo aceptado como limitante de crecimiento microbiano para mantener la fermentación ruminal. En el estudio realizado por Benini et al. (2020) comentan que no se observó influencia en los valores de proteína cruda en diferentes niveles de adición de agua (30%, 35%, 40% y 45%).

Los tratamientos de 35%, 40% y 45% de humedad con y sin inoculante no presentaron significancia ($P > 0.05$) para la variable energía bruta. Se determinó que, independientemente de la humedad o inoculante, el contenido energético no es afectado. Según Pereira et al. (2015) el uso de maíz húmedo para ensilaje es la principal fuente de energía para rumiantes y monogástricos. Lo que coincide con lo argumentado por Córdova et al. (2013), el maíz de alta humedad es una importante fuente de energía alternativa para los rumiantes (Cuadro 3).

Cuadro 3

Interacción de humedad e inóculo en variables evaluadas.

Tratamientos		Materia fresca	pH	Proteína cruda	Energía Bruta (kcal/kg MS)
Humedad	Inóculo	(%)		(%)	
35%	Sin inóculo	34.82 ^a	4.77 ^a	7.21 ^a	3900.97
	Con inóculo	33.61 ^a	4.78 ^a	7.53 ^c	3937.75
40%	Sin inóculo	38.33 ^b	4.39 ^b	7.34 ^{abc}	3732.84
	Con inóculo	38.58 ^b	4.20 ^c	7.27 ^{ab}	3788.98
45%	Sin inóculo	43.70 ^c	4.30 ^{bc}	7.45 ^{bc}	3752.00
	Con inóculo	44.45 ^c	4.39 ^b	7.41 ^{abc}	3644.24
EE		0.61	0.049	0.072	109.95
C.V. (%)		2.72	1.91	1.96	5.8
P		0.0016	0.0183	0.0285	0.1161

Nota. EE= error estándar; C.V. (%) = coeficiente de variación; $P \leq 0.05$: probabilidad

Mediante la observación visual se concluye que ni los niveles de humedad, ni la adición de inóculo influyen en la presencia de hongos durante el proceso de rehidratación. Esto se puede atribuir al uso del inoculante Sila-Prime®. Según Caribbeanprobiotics (2019) describe que inhibe la proliferación de microorganismos indeseables como hongos que deterioran el ensilaje, evitando pérdidas y mejorando la estabilidad y calidad del ensilaje. Asimismo Fonseca y Rodríguez (2019), describen que el maíz presenta adecuados niveles de azúcares solubles que permiten la rápida estabilización del proceso de conservación e inhiben el crecimiento de hongos indeseables. Lo que coincide con lo argumentado por Queiroz y Aba (2015) quienes concluyen que la anaerobiosis fermenta carbohidratos que produce ácido láctico, el cual reduce el pH y el crecimiento de microorganismo indeseables. La anaerobiosis y el bajo pH inhiben el crecimiento de hongos. Es importante considerar que se puede prevenir la presencia de hongos según las condiciones, como un ambiente propicio y un buen manejo, ya que si el manejo es malo puede promover condiciones aeróbicas y favorecer el crecimiento de hongos (Cuadro 4).

Cuadro 4

Interacción humedad e inóculo en la variable evaluada presencia de hongos.

Humedad	Tratamientos		Presencia de hongos
	Inóculo		
35%	Sin inóculo		No
	Con inóculo		No
40%	Sin inóculo		No
	Con inóculo		No
45%	Sin inóculo		No
	Con inóculo		No

Conclusiones

Se lograron niveles de humedad esperados 35, 40 y 45% en la realización de la mezcla.

Los niveles óptimos de humedad para rehidratar maíz olote tusa molido son 40 y 45%, ya que se obtienen mejores resultados en cuanto a la disminución del pH, logrando así, una buena fermentación para el proceso de conservación.

La adición de inóculo no mostró efecto sobre las variables. Sin embargo, es importante para asegurar una óptima fermentación y calidad del maíz olote tusa rehidratado.

El porcentaje de proteína cruda y energía bruta no se ven modificados a nivel de efectos principales humedad e inóculo individualmente, solamente en la interacción se vio afectada la proteína cruda. Sin embargo, se encuentran en el porcentaje de rango adecuado.

Los niveles de humedad utilizados no influyeron en la proliferación de hongos durante el periodo de almacenamiento del maíz olote tusa rehidratado.

Recomendaciones

Se recomienda hacer un análisis bromatológico completo de las muestras de maíz olote tusa que incluya la digestibilidad de almidón, verificando así de manera más eficiente el valor nutricional del maíz olote tusa rehidratado.

Evaluar tiempos de fermentación del inoculante (Sila-Prime®) para determinar el mejor patrón de fermentación.

Realizar un análisis económico de maíz olote tusa rehidratado como método de conservación a nivel de finca.

Realizar más investigaciones de rehidratación de maíz olote tusa e implementarlo como dieta en animales rumiantes de Zamorano.

Referencias

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2002. AOAC Official Method 2001.11 Protein (Crude) in Animal Feed, Forage (Plant Tissue), Grain, and Oilseeds: Block Digestion Method Using Copper Catalyst and Steam Distillation Into Boric Acid. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 13 de jun. de 2022]. 3 p. <https://img.21food.cn/img/biaozhun/20100108/177/11285182.pdf>.
- Ávila NRB de, Silva NCDe, Leite RF, Barbosa LdÁ, Florentino LA, Rezende AV de. 2019. Caracterização da silagem de grão de milho reidratado associado ao resíduo de tilápia. *Ciência Animal Brasileira*. 20:1–12. pt. doi:10.1590/1089-6891v20e-50220.
- Benini MdC, Carvalho WTV, Pereira RVG, Tavares QG, Minighin DC, Nunes, Ruley France de Jesus, Souza LPF, Ribeiro CHM, Silva LV. 2020. Avaliação química da silagem de grão de milho reidratado em diferentes níveis de adição de água. *Pubvet*. 14(7):1–6. doi:10.31533/pubvet.v14n7a612.1-6.
- Biaggioni MAM, Lopes ABdC, Jasper SP, Berto DA, Gonçalves EV. 2009. Qualidade da silagem de grão úmido em função da temperatura ambiente e pressão interna de armazenagem. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 31(3):377–382. doi: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 Posgrado]. Brasil: Universidade Federal De Lavras. 131 p; [consultado el 7 de jul. de 2022]. http://www.grupodoleiteufla.com.br/upimg/ck/files/Material_TESE_Substitui%C3%A7%C3%A3o_de_milho_mo%C3%ADdo_por_milho_reidratado.pdf.
- Bonilla S, Usca J. 2015. Utilización de diferentes niveles de maíz de desecho con tusa molida más melaza en la alimentación de cuyes. *Revista Ciencia Unemi*; [consultado el 7 de sep. de 2022]. 8(15):96–101. <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663829011.pdf>.
- Camps D, Gonzáles G. 2003. Grano de maíz en la alimentación del ganado: ¿Entero o partido? Argentina: Facultad de Ciencias Veterinarias; [consultado el 7 de jun. de 2022]. 4 p. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/04-grano_maiz.pdf.
- Caribbeanprobiotics. 2019. SilaPrime. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 2 de jul. de 2022; consultado el 2 de jul. de 2022]. <http://www.caribbeanprobiotics.com/silaprime/>.
- Cherney J, Cherney D. 2015. Assessing Silage Quality. En: Buxton DR, Muck RE, Harrison JH, editores. *Silage Science and Technology*. [sin lugar]: John Wiley & Sons, Ltd. p. 141–198 (*Agronomy Monographs*). en.
- Córdova T, Neumann M, Oliboni Rodrigo, Oliveira M. 2013. Utilização de silagem de grão úmido na dieta de animais ruminantes. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*; [consultado el 28 de jun. de 2022]. 9(1):225–239. <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/1304/1939>.
- Depetris GJ. 2013. Valor nutricional del grano y ensilaje de maíz en la alimentación de bovinos para carne: Calidad del grano de maíz para la industria y la producción en bovinos [Informe]. Balcarce: Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. es; [consultado el 9 de ene. de 2015]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47597>.
- Faustino T, Dias e Silva N, Leite R, Silva F, Florentino L, Rezende A. 2018. Utilização da silagem de grão de sorgo reidratado na alimentação animal. *Nucleus Animalium*; [consultado el 27 de jun. de 2022]. 10(2):47–60. pt. <https://nucleus.feituverava.com.br/index.php/animalium/article/view/2892/3010>.

- [FEDNA] Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2016. Ensilado de maíz. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 13 de jun. de 2022; consultado el 14 de jun. de 2022]. <https://www.fundacionfedna.org/forrajes/ensilado-de-ma%C3%ADz>.
- Fonseca D, Rodríguez C. 2019. Efecto de un inoculante microbiano sobre la calidad microbiológica y nutricional de ensilaje de *Morus alba* L. y *Sambucus nigra* L. Revista Logos, Ciencia & Tecnología; [consultado el 7 de jul. de 2022]. 11(2). <http://www.scielo.org.co/pdf/logos/v11n2/2422-4200-logos-11-02-93.pdf>. doi:10.22335/rfct.v11i2.825.
- Gervásio J. 2021. Reidratação e ensilagem de grãos de milho com diferentes granulometrias e inclusões na dieta para bovinos de corte [Tesis universitaria]. Brasil: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA. 87 p; [consultado el 7 de sep. de 2022]. https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/204175/gervasio_jrs_dr_jabo_sub.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- Gingins M. 2013. Como interpretar un análisis de ensilaje de maíz. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 6 de dic. de 2022]. 3 p. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/213-analisis.pdf.
- James N, Tamminga S. 1991. Site of Digestion of Starch in the Gastrointestinal Tract of Dairy Cows and Its Effect on Milk Yield and Composition. Journal of Dairy Science; [consultado el 6 de oct. de 2022]. 74(10):3598–3629. <https://cutt.ly/iJVPbBL>.
- Jobim CC, Nussio LG, Reis RA, Schmidt P. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. Revista Brasileira de Zootecnia. 36(suppl):101–119. doi:10.1590/S1516-35982007001000013.
- Lardone A. 2017. Relevamiento de la calidad de silos de maíz de la campaña 2016/17 en el sur del departamento unión (Córdoba). [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 13 de jun. de 2022]. 4 p. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_silos_canals17.pdf.
- Mojica J. 2021. ¿Sabe usted cuántos kilos de ensilaje de maíz debe darles a sus animales?: Ganadería Sostenible. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 13 de jun. de 2022; consultado el 13 de jun. de 2022]. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/sabe-usted-cuantos-kilos-de-ensilaje-de-maiz-debe-darles-sus-animales>.
- Neumann M, Mühlbach PRF, Nörnberg JL, Ost PR, Restle J, Sandini IE, Romano MA. 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; [consultado el 28 de jun. de 2022]. 37(3):847–854. pt. <https://www.scielo.br/j/cr/a/4zQmJ7p3w58fVpsygrLGChj/?lang=pt>. doi:10.1590/S0103-84782007000300038.
- Oliva ED, Reyes JA. 2017. Efecto de la suplementación con ensilaje de pulpa de café (*Coffea arabica* L.) sobre el desempeño productivo de ganado lechero en Zamorano, Honduras [Tesis universitaria]. Honduras: Zamorano. 28 p; [consultado el 7 de jun. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7961a03f-0e00-44c7-b72c-8e1bd2a85685/content>.
- Olphand M-P. [actualizado el 22 de mar. de 2022]. El precio de los fertilizantes, una pesadilla para los países agrícolas. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 5 de jun. de 2022]. <https://www.rfi.fr/es/economia/20220322-el-precios-de-los-fertilizantes-una-pesadilla-para-los-pa%C3%ADses-agr%C3%ADcolas>.

- Paliwal RL. 2001. El Maíz en Los Trópicos: Mejoramiento y Producción. Roma: Food & Agriculture Org (vol. 28). ISBN: 9789253044573. es; [consultado el 12 de nov. de 2021]. <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf>.
- Pereira K, Graças A, Coutinho Maylson, Oliveira J, Ferreira T, Lelis H, Vaz R, Martins O. 2015. Elaboração e processamento de silagem de grão úmido de milho na alimentação animal. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 28 de jun. de 2022]. 3 p. http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/1387/1/iii_simp_elaboracao.pdf.
- Queiroz O, Aba M. 2015. Micotoxinas en silaje. Engormix; [consultado el 7 de jul. de 2022]. <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/micotoxinas-silaje-t32721.htm>.
- Rocha W, Paranhos M, Chaves A, Camargo F, Graciano A, Santos J, Marques C, Menezes A. 2019. Silagem de grão úmido e reidratado na dieta de ruminantes. Brasil: Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; [consultado el 27 de jun. de 2022]. 7 p. <https://famez.ufms.br/files/2019/12/SILAGEM-DE-GR%C3%83O-%C3%9AMIDO-E-REIDRATADO-NA-DIETA-DE-RUMINANTES.pdf>.
- Sauvant D. 1997. Conséquences digestives et zootechniques des variations de la vitesse de digestion de l'amidon chez les ruminants. Paris: [sin editorial]. 287-300. fr; [consultado el 10 de jun. de 2022]. <https://productions-animales.org/article/view/4003>.
- Silva N. 2012. ¿Cómo Medir la Materia Seca de los Forrajes Ensilados? [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 13 de jun. de 2022; consultado el 13 de jun. de 2022]. <https://www.academia.edu/RegisterToDownload/RelatedWorks>.
- Tercero LE, Solano JO. 2015. Evaluación de calidad de ensilajes de pasto Mulato II (*Brachiaria híbrido* CIAT 36087) con adición de harina de maíz, melaza y Biostabil® como inóculo [Tesis universitaria]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 26 p; [consultado el 7 de jun. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/73f05b24-0773-4907-880a-b34bd0e36af2/content>.
- Velho J, Mühlbach P, Nörnberg J, Velho I, Genro T, Kessler J. 2007. Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação. Revista Brasileira de Zootecnia. 36(5 suppl):1532–1538. doi:10.1590/S1516-35982007000700011.
- Yara. 2019. Producción mundial del maíz | Yara México: Nutrición vegetal Maíz. México: [sin editorial]; [actualizado el 27 de feb. de 2019; consultado el 11 de dic. de 2021]. <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/maiz/produccion-mundial/>.

Anexos

Anexo A

Presupuesto

Descripción del material	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario (\$.)	Total (\$.)
Maíz olote tusa	6	quintal	12.41	74.46
Balde de plástico de 20 litros	18	unidad	7.24	130.32
Análisis de proteína cruda	14	unidad	15.95	223.31
Análisis de energía bruta	14	unidad	23.76	332.71
Inoculante Sila-Prime®	1	Libra/100 toneladas	97.74	97.74
TOTAL				858.64

Anexo B

Cálculo de humedad de maíz olote tusa a 35%

Maíz olote tusa 35% de humedad				
Base seca (%)	100			
Materia seca maíz (%)	87			
Peso de maíz en balde (kg)	9.522727			
Materia seca rehidratada (%)	65	0.65		Comprobación
Total mezcla de maíz y agua (kg)	133.8462	100%	134	
Agua (kg)	33.8462	25.29%	47	35%
Maíz (kg)	100	74.71%	87	65%
	con	sin		
Mezclar 90.91 kg (dividir en 2 partes)	inoculante	inoculante		
	45.45	45.45		
Maíz (kg)	33.9569	33.9569		
Agua (kg)	11.4931	11.4931		
Cantidad de inoculante Silaprime (mg)	123.9545	0		
Agua con inoculante (ml de mezcla diluida en 6 g/lit)	0.05	0		factor de dilución 50 ml
Agua pura (lit)	5.1679	5.2179		
Total agua añadida (lit)	5.2179	5.2179		

Anexo C

Cálculo de humedad de maíz olote tusa a 40%

Maíz olote tusa 40% de humedad				
Base seca (%)	100			
Materia seca maíz (%)	87			
Peso de maíz en balde (kg)	9.522727			
Materia seca rehidratada (%)	60	0.6	Comprobación	
Total mezcla de maíz y agua (kg)	145	100%	145	
Agua (kg)	45	31.03%	58	40%
Maíz (kg)	100	68.97%	87	60%
	con	sin		
Mezclar 90.91 kg (dividir en 2 partes)	inoculante	inoculante		
	45.45	45.45		
Maíz (kg)	31.3448	31.3448		
Agua (kg)	14.1052	14.1052		
Cantidad de inoculante Silaprime (mg)	123.9545	0		
Agua con inoculante (ml de mezcla diluida en 6 g/lit)	0.05	0	factor de dilución 50 ml	
Agua pura (lit)	6.3537	6.4037		
Total agua añadida (lit)	6.4037	6.4037		

Anexo D

Cálculo de humedad de maíz olote tusa a 45%

Maíz olote tusa 45% de humedad				
Base seca (%)	100			
Materia seca maíz (%)	87			
Peso de maíz en balde (kg)	9.522727			
Materia seca rehidratada (%)	55	0.55	Comprobación	
Total mezcla de maíz y agua (kg)	158	100%	158	
Agua (kg)	58	36.78%	71	45%
Maíz (kg)	100	63.22%	87	55%
	con	sin		
Mezclar 90.91 kg (dividir en 2 partes)	inoculante	inoculante		
	45.45	45.45		
Maíz (kg)	28.7328	28.7328		
Agua (kg)	16.7172	16.7172		
Cantidad de inoculante Silaprime (mg)	123.9545	0		
Agua con inoculante (ml de mezcla diluida en 6 g/lit)	0.05	0	factor de dilución 50 ml	
Agua pura (lit)	7.5396	7.5896		
Total agua añadida (lit)	7.5896	7.5896		