



Efectos del suero ácido sobre la calidad química fermentativa y la estabilidad aeróbica del ensilado de grano de maíz rehidratado



Ediane Zanin ^{a*}

Egon Henrique Horst ^b

Caio Abércio Da Silva ^a

Valter Harry Bumbieris Junior ^a

^a State University of Londrina. Department of Animal Science, Londrina, Paraná, Brazil, 86057-970.

^b Midwestern Paraná State University. Department of Veterinary Medicine, Guarapuava, Paraná, Brazil.

* Autor de correspondencia: ediane.z@hotmail.com

Resumen:

El objetivo fue evaluar las características fermentativas, químicas y la estabilidad aeróbica de los ensilados de grano de maíz rehidratados con suero fluido (SF) o suero en polvo (SP) y agua, con o sin la adición de inoculante (I). El grano de maíz se molió e hidrató añadiendo agua sin cloro y/o suero para alcanzar el 35 % de humedad y se almacenó en silos de 4.36 kg. Tras 45 días de fermentación, se sometieron muestras de los ensilados a análisis químico-fermentativos en apertura de silos y 240 h de exposición al aire. Se considera que la estabilidad aeróbica de los ensilados evaluada durante 240 h se perdió cuando la temperatura de la masa ensilada sobrepasó la temperatura ambiente en 2 °C. Se observó una reducción en el contenido de fibra detergente ácida (FDA) y lignina de los ensilados con el uso de SF y SP. Los niveles de nitrógeno de amoníaco (NH₃-N) fueron los más bajos para el SF y el SP (0.7 y 0.9 g/kg TN) y el pH fue de 4.31 para el SF tras 240 h de exposición aeróbica. El uso de inoculantes proporcionó mayores niveles de cenizas, extracto de éter (EE) y baja capacidad de amortiguación (BC), además de reducciones en los niveles de FDA. Los ensilados inoculados mostraron niveles más altos de NH₃-N y de pH después de 240 h. El ensilado de granos de maíz rehidratados con SF proporcionó valores de pH ideales, un bajo contenido de NH₃-N, niveles

reducidos de FDA y lignina, y una mejor estabilidad aeróbica. Además de ser una alternativa sostenible, el uso de suero fluido para rehidratar los granos de maíz añade valor nutricional y mejora la fermentación del ensilado.

Palabras clave: Suero ácido, Subproducto, Grano de maíz, Inoculante, Ensilaje, Sostenibilidad.

Recibido: 04/03/2021

Aceptado: 13/05/2022

Introducción

El grano de maíz es uno de los ingredientes energéticos más utilizados en la alimentación animal; además, puede ser sometido a rehidratación para ser almacenado como ensilado. El ensilaje de grano de maíz rehidratado es una estrategia utilizada para garantizar la disponibilidad de piensos durante todo el año⁽¹⁾ disminuir los costos logísticos⁽²⁾ y minimizar los efectos de las fluctuaciones del precio de esta materia prima⁽³⁾.

El proceso de molienda del grano de maíz seco y su posterior rehidratación también tiene como objetivo aumentar su digestibilidad, lo que se refleja positivamente en el rendimiento animal⁽⁴⁾. En particular, estos recursos son apropiados ya que el maíz utilizado en la mayoría de los países se caracteriza por ser Flint, el cual tiene una menor digestibilidad.

Asociada a la rehidratación, la fermentación del maíz en grano es un proceso interesante; el grano seco no es apto para el ensilado debido a su bajo contenido de humedad y azúcares, lo que se traduce en una producción limitada de ácidos totales⁽⁵⁾. Por lo tanto, la rehidratación, comúnmente realizada con agua y destinada a alcanzar niveles finales de entre el 35 y el 37 % de humedad^(6,7), es una aplicación práctica.

El uso de una fuente líquida de bajo valor añadido o con características contaminantes pero no tóxicas también puede utilizarse para la rehidratación del maíz en grano seco. Los subproductos como el líquido de suero ácido, que tienen concentraciones considerables de bacterias ácido-lácticas y lactosa⁽⁸⁾ así como un valor nutricional reconocido, constituyen un ejemplo adecuado para este propósito, y su utilización ofrece la doble ventaja de que suministra más nutrientes al ensilado⁽⁹⁾ y a la vez da a este subproducto un destino final adecuado.

Con objeto de mejorar la fermentación, reducir las pérdidas de nutrientes e inhibir el crecimiento de microorganismos indeseables^(5,9), también se incorporan a la masa ensilada inoculantes microbianos compuestos por bacterias homofermentativas y

heterofermentativas, que pueden prolongar la estabilidad aeróbica de los ensilados de grano de maíz húmedos y rehidratados^(7,10). En este contexto, la hipótesis de este trabajo fue que la composición del líquido del suero y su capacidad microbiológica favorece el mejoramiento de la calidad del ensilado, reduce el uso de agua para la rehidratación de los granos y contribuye a un destino adecuado de este subproducto. En el caso del suero en polvo, además de considerar la carga de nutrientes de su composición como fuente líquida para la rehidratación, está disponible a escala comercial. Por último, la adición de inoculantes puede ayudar a estas dos fuentes líquidas a mejorar la calidad fermentativa y la estabilidad aeróbica del ensilado. Así, el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de la rehidratación de los granos de maíz con suero ácido o suero en polvo y agua, con o sin la adición de un inoculante, sobre las características químicas, fermentativas y la estabilidad aeróbica de los ensilados.

Material y métodos

Grano de maíz y preparación del ensilado

Los granos de maíz se obtuvieron de los silos de almacenamiento de Cooperativa Agropecuaria Cocamar®, Londrina, Paraná, Brasil, y no se conoce su identidad genética. Estos granos se procesaron inicialmente en un molino de martillos hasta alcanzar un tamaño medio de partícula de 1.5 mm, y se sometieron a la evaluación del contenido de humedad según la metodología descrita por la AOAC⁽¹¹⁾, obteniendo un valor medio de 117 g/kg de materia seca (MS). El suero ácido se obtuvo de la empresa láctea Volpato®, en la ciudad de Arapongas, Paraná, Brasil, durante el procesamiento de la leche para la producción de derivados, y se lo usó poco después *in natura* para rehidratar los granos. El suero de leche en polvo utilizado se adquirió en la Cooperativa Cativa®, en la ciudad de Londrina, Paraná, Brasil.

El grano de maíz se molió y se sometió a una hidratación según cada tratamiento añadiendo agua sin cloro y/o suero para alcanzar el 35 % de humedad, con o sin la adición de un inoculante definiendo cinco productos, que se incorporaron al grano de maíz seco correspondiente a los tratamientos experimentales: Ensilado de grano de maíz rehidratado con agua (TEST.⁰); Ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche fluido (ESF); Ensilado de grano de maíz rehidratado con suero fluido, más inoculante (ESF + I); Ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche en polvo reconstituido con agua (ESP); y Ensilaje de grano de maíz rehidratado con suero en polvo reconstituido con agua, más inoculante (ESP + I). El inoculante microbiano añadido a la masa a ensilar fue previamente diluido en una proporción de 2.5 ml del producto en 7 L de agua sin cloro y/o suero por cada 20 kg de maíz molido y homogeneizado manualmente. El inoculante utilizado fue Biotrato SLO® (SLO Biotecnología & Agropecuária, Cambé, Paraná, Brasil), el cual consta de *Propionibacterium acidipropionici*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Pediococcus acidilactici*, *Enterococcus faecium*,

Lactobacillus buchneri y *Lactobacillus curvatus*, a una concentración de 70×10^9 UFC/g y 8 % de enzimas celulolíticas.

Una vez hidratada, la masa de cada uno de los cinco productos se almacenó en seis silos de polietileno con una capacidad de 4 L cada uno, determinando unidades con un peso medio inicial de 4.36 ± 0.17 kg. La compactación se realizó manualmente, con una densidad específica media de 1.020 ± 0.04 kg de materia natural (MN)/m³. Todos los silos se sellaron con una tapa y una cinta de plástico adecuada y se almacenaron en un lugar seco y ventilado durante 45 días hasta la fecha de apertura, cuando alcanzaron un peso final de 4.28 ± 0.20 kg. El diseño experimental fue completamente aleatorio con cinco tratamientos y seis repeticiones correspondientes a cada silo.

Análisis químico

Las muestras de grano de maíz antes del ensilado (883 g de MS/kg de materia natural (MN), 92.7 g de proteína bruta (PB)/kg de MS, 11.5 g de cenizas/kg de MS, 31.8 g de extracto etéreo (EE)/kg de MS, 126.2 g de FDN/kg de MS, 25.8 g de FDA/kg de MS y 11.3 g de lignina/kg de MS) y la masa ensilada después de abrir los silos (Cuadro 1) se evaluaron según las metodologías de AOAC⁽¹¹⁾, mientras que la fibra detergente neutra (FDN) se ensayó con una alfa amilasa estable al calor y sulfito de sodio (aFDN), la fibra detergente ácida (FDA) y la lignina (lignina (as)) con ácido sulfúrico y corregida para cenizas se evaluaron según la metodología descrita por Van Soest *et al*⁽¹²⁾. Los valores de los nutrientes digeribles totales (NDT) se calcularon según Sniffen *et al*⁽¹³⁾; los de los carbohidratos totales (CHT) se estimaron según la ecuación propuesta por Chandler⁽¹⁴⁾, y los de los carbohidratos no fibrosos (CHNF), según la ecuación de Hall⁽¹⁵⁾.

La composición del suero fluido antes del ensilaje fue: 60 g MS/kg MS, 865 g PB/kg MS, 3.40 g Ceniza/kg MS, 3.50 g EE/kg MS, un pH de 6.30, y acidez de 0.13 para el ácido láctico. El suero en polvo presentó las siguientes características: 970 g de MS/kg de NM, 110 g de PB/kg de MS, 60 g de cenizas/kg de MS, 15 g de EE/kg de MS, un pH de 6.30-6.0, y una acidez de 0.13 para el ácido láctico. Estos análisis siguieron los procedimientos descritos por Zenebon *et al*⁽¹⁶⁾. Se recogieron muestras de los ensilados de cada tratamiento al momento de abrir los silos para determinar la composición químico-fermentativa mediante un sistema de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS DS2500; Foss, Dinamarca) (Tabla 2) del laboratorio 3rlab[®] (Chapecó, Santa Catarina, Brasil). Los resultados de los análisis mostrados en la Tabla 2 son sólo exploratorios y descriptivos, ya que se trata de una caracterización de los ensilajes sin la aplicación de análisis estadísticos.

Cuadro 2: Composición químico-fermentativa de los ensilados de grano de maíz rehidratado determinada por el sistema NIRS

| Variables ² (g/kg DM) | Tratamiento ¹ | | | | |
|---|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | TEST | ESF | | ESP | |
| | | Sin | Con | Sin | Con |
| MS, g/kg MN | 652.9 | 609.4 | 655.0 | 641.5 | 621.7 |
| Humedad | 347.1 | 390.6 | 344.0 | 358.5 | 378.3 |
| PB | 97.2 | 98.5 | 100.1 | 100.7 | 95.1 |
| Proteína soluble g/kg PB | 496.0 | 504.8 | 520.6 | 504.0 | 509.5 |
| Proteína disponible | 96.2 | 97.9 | 99.2 | 100.1 | 94.4 |
| PIDA | 01.0 | 00.6 | 00.9 | 00.7 | 00.7 |
| PIDN | 02.8 | 02.2 | 02.9 | 02.8 | 02.3 |
| PIDA g/kg PB | 10.0 | 06.2 | 09.1 | 06.6 | 07.5 |
| FDA | 31.3 | 28.6 | 31.4 | 26.0 | 27.4 |
| FDN | 91.0 | 74.9 | 87.9 | 85.5 | 76.6 |
| aFDNmo | 85.4 | 69.3 | 82.1 | 78.7 | 69.4 |
| Lignina | 05.1 | 04.9 | 05.1 | 04.6 | 04.7 |
| Lignina, g/kg FDN | 56.3 | 64.9 | 58.5 | 53.7 | 61.8 |
| Azúcares (carbohidratos solubles en agua) | 44.5 | 50.5 | 49.0 | 50.4 | 48.3 |
| Almidón | 698.8 | 703.9 | 688.9 | 704.7 | 699.9 |
| Almidón, g/kg CNF | 919.7 | 905.1 | 905.0 | 916.4 | 904.4 |
| Digestibilidad del almidón en el rumen, g/kg almidón 0h | 466.4 | 394.1 | 417.6 | 354.0 | 458.1 |
| Digestibilidad del almidón en el rumen, g/kg starch 7h | 701.9 | 709.2 | 701.6 | 686.4 | 740.7 |
| Lípidos | 36.2 | 33.1 | 35.3 | 29.7 | 38.1 |
| Ceniza | 18.5 | 17.9 | 18.3 | 17.8 | 18.6 |
| Calcio | 00.5 | 00.5 | 00.5 | 00.5 | 00.5 |
| Fósforo | 02.2 | 02.0 | 02.0 | 02.2 | 02.2 |
| Potasio | 03.9 | 03.7 | 03.9 | 04.0 | 03.8 |
| Magnesio | 00.9 | 00.8 | 00.9 | 00.9 | 00.9 |
| Azufre | 00.9 | 00.9 | 00.9 | 00.9 | 00.9 |
| Ácido láctico | 21.5 | 24.8 | 26.3 | 22.2 | 24.8 |
| Ácido acético | 03.2 | 05.0 | 03.6 | 03.0 | 04.2 |
| Equivalente proteico del NH3-N | 03.3 | 03.6 | 03.1 | 02.9 | 03.8 |
| NH3-N, g/kg de PB | 33.6 | 37.0 | 31.3 | 28.8 | 40.1 |
| pH | 4.78 | 3.89 | 4.13 | 4.23 | 4.15 |
| Kd de almidón (utilizando 3.7 h) %h | 17.00 | 17.19 | 16.96 | 16.29 | 18.86 |

¹ Tratamiento: TEST= ensilado de grano de maíz rehidratado con agua; ESF= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche; ESF + I= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero fluido, más inoculante; ESP= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche en polvo reconstituido con

agua; ESP + I= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero en polvo reconstituido con agua, más inoculante.

²Variables: MS= materia seca (g/kg de materia natural); PIDA= proteína insoluble con detergente ácido; PIDN= Proteínas insolubles con detergente neutro; FDA= fibra detergente ácida; FDN= fibra detergente neutra; aFDNmo= fibra detergente neutra con amilasa y expresada excluyendo la ceniza residual; NH₃-N= nitrógeno amoniacal. Kd= tasa fraccionaria de degradación. Análisis determinados por el Laboratorio 3rLab.

Análisis fermentativo y estabilidad aeróbica

Para evaluar el perfil de fermentación de los ensilados, se determinó la capacidad de amortiguación (CA) y el nitrógeno amoniacal (NH₃-N) según la metodología de Playne y McDonald⁽¹⁷⁾ al momento de la apertura de los silos y tras 240 h de exposición al aire (Cuadro 3).

La estabilidad aeróbica de los ensilados se determinó utilizando 3 kg de la masa ensilada, homogeneizada y depositada en los silos según cada tratamiento, la cual permaneció en una sala cerrada expuesta en un banco a temperatura ambiente durante 240 h. Se midió la temperatura ambiente y la del ensilado (25.43 ± 2.38 °C) y las temperaturas del ensilaje se verificaron cada 12 h utilizando un termómetro digital (TP101 Xtrad 145 mm; Shenzhen Handsome Techn., Guangdong, China). Para esta medición se introdujo la varilla del termómetro a 10 cm de profundidad en el centro de la masa. Se consideró que la pérdida de estabilidad aeróbica se producía cuando la temperatura de la masa ensilada sobrepasaba la temperatura ambiente por 2 °C⁽¹⁸⁾.

El pH de la masa ensilada durante la exposición aeróbica se midió utilizando un potenciómetro (AZ Temp Meter; AZ Instrument Corp., Taichung City, Taiwán) según la metodología de Phillip y Fellner⁽¹⁹⁾. Estos análisis se delimitaron en parcelas subdivididas, en las cuales la porción principal era el tratamiento y la subparcela el tiempo de exposición aeróbica.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron según un diseño completamente aleatorio utilizando el procedimiento de Modelo Lineal General (PROC GLM) de SAS (ver 9.2; SAS Inst. Inc., Cary, NC, EEUA). Se utilizaron contrastes para verificar las hipótesis científicas utilizando el comando CONTRAST, lo que permitió comparar los impactos del uso de suero fluido y de suero en polvo en las variables investigadas, así como comparar los efectos del uso de inoculantes con estos agentes reconstituyentes. El modelo propuesto fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + \xi_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijkl} = valor observado respecto al nivel i del factor A , combinado con el nivel j del factor B y el nivel k del factor C , en la repetición l ;

μ = promedio general;

α_i = nivel de efecto i del factor A ;

β_j = nivel de efecto j del factor B ;

δ_k = nivel de efecto k del factor C ;

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción de A con B ;

$(\alpha\delta)_{ik}$ = efecto de la interacción de A con C ;

$(\beta\delta)_{jk}$ = efecto de la interacción de B con C ;

ξ_{ijkl} = error experimental asociado a Y_{ijkl} y considerado independiente e idénticamente distribuido, con la distribución $N(0, \sigma^2)$.

Inicialmente se sometió a prueba la interacción $(\alpha\beta\delta)_{ijk}$, pero debido a su baja magnitud, se la eliminó del modelo estadístico. Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar, así como el correspondiente error estándar. La significancia fue declarada en $P < 0.01$ y $P < 0.05$, y las tendencias se debatieron cuando $P < 0.10$. Para los datos de pH de la estabilidad aeróbica, el análisis de regresión ($\alpha = 0.05$) se realizó para dividir la interacción temporal por tratamiento en el programa estadístico RStudio (v. 3.6.0; 2019).

Resultados

Calidad de la composición química

El contenido de ADF del ensilado de grano de maíz rehidratado con ESP difirió significativamente ($P < 0.01$) entre los tratamientos (Cuadro 1), con un valor inferior de FDA observado de 14.7 g/kg de MS para el ensilado sin inoculación, seguido de ESP + I con un valor de 21.0 g/kg de MS. Hubo una interacción significativa ($P < 0.01$) entre las fuentes líquidas utilizadas, en la que los ensilajes ESP tuvieron los valores más bajos de FDA.

El contenido de lignina difirió significativamente ($P < 0.10$) entre los ensilados de ESF y otros tratamientos: el mayor contenido de lignina se observó en el tratamiento ESF + I con 7.8 g/kg de MS, además de presentar una interacción significativa ($P < 0.05$) entre ESF y ESP; el menor contenido de lignina se observó en el ensilado de ESF (Cuadro 1).

El valor de EE difirió ($P < 0.05$) para los ensilajes en los que se utilizó ESF como fuente de líquido para rehidratar los granos de maíz, con un mayor contenido de este nutriente en el tratamiento ESF + I. Hubo una interacción significativa ($P < 0.01$) entre las fuentes de líquido de ESF y ESP utilizadas para rehidratar los granos (Cuadro 1), observándose un aumento de EE en la fuente ESF en comparación con los valores de los ensilajes con los tratamientos testigo y ESP.

En relación con los niveles de ceniza se observó una diferencia significativa para las fuentes de los tratamientos ($P<0.05$), para la adición de inoculantes ($P<0.01$) y para la interacción entre las fuentes de líquido ($P<0.05$). Los ensilados de grano de maíz que se rehidrataron con ESP tuvieron los niveles más altos de ceniza en comparación con las otras fuentes de rehidratación, y la adición de inoculante en los tratamientos ESP y ESF arrojó los niveles más altos de este componente (Cuadro 1). Ni la fuente de líquido ni la adición inoculante influyeron en los valores de MS, PB, FND, CHT o CNF de los ensilajes ($P>0.05$).

Perfil de fermentación

El $\text{NH}_3\text{-N}$ de la masa ensilada expuesta al aire durante 240 h mostró diferencias significativas entre los diversos ensilajes (Cuadro 3) con y sin inoculación ($P<0.05$) y entre los tratamientos ESP y ESF ($P<0.01$), y se observó una interacción significativa entre las fuentes de líquido de estos tratamientos ($P<0.01$). Los ensilados con adición de inoculante y el tratamiento testigo mostraron los niveles más altos de $\text{NH}_3\text{-N}$ a las 240 h.

Los valores de pH evaluados en los ensilados mostraron una diferencia significativa tanto al momento de la apertura de los silos como después de 240 h de exposición al aire (Cuadro 3). Al momento de la apertura de los silos se observó una diferencia significativa entre los valores de pH de las fuentes de líquido de los ensilados ESF ($P<0.05$) y ESP ($P<0.01$) sin la adición de inoculante; la fuente ESF obtuvo un valor de pH inferior, de 4.26.

Después de 240 h de exposición, los valores de pH difieren entre los tratamientos ESF y ESP ($P<0.01$; 0.10, respectivamente), con un valor observado inferior de 4.31 para el SF y una tendencia hacia un valor de pH más bajo para el ensilado con SP en comparación con los del tratamiento testigo (Cuadro 3). En cuanto a la adición de inoculante, los ensilados de grano de maíz rehidratados con ESP mostraron un valor de pH superior al de los tratamientos testigo y ESF ($P<0.01$). Además, se observó una interacción significativa ($P<0.01$) entre los ensilados ESP y ESF, en la cual los valores de pH más bajos se observaron para ESF, independientemente de la adición de inoculante. Los ensilados inoculados ($P<0.05$) que eran independientes de las fuentes de líquido utilizadas mostraron los valores de BC más bajos que los de los ensilados con los tratamientos ESF y testigo.

Estabilidad aeróbica

La pérdida de estabilidad aeróbica difirió significativamente ($P<0.05$) entre los ensilados de grano de maíz rehidratados con agua y ESF + I y los sometidos a otros ensilados, que rompieron la estabilidad después de 84 h de exposición al oxígeno, mostrando una mayor estabilidad al momento de abrir los silos (Cuadro 4). La masa ensilada sometida a los tratamientos con agua y con ESF + I requirió de un tiempo significativamente más corto

(76 y 75 h, respectivamente) que los demás tratamientos ($P<0.05$) para aumentar su temperatura en 2 °C por encima de la temperatura ambiente, comportamiento que caracteriza a la pérdida de estabilidad aeróbica y el inicio del deterioro del ensilado.

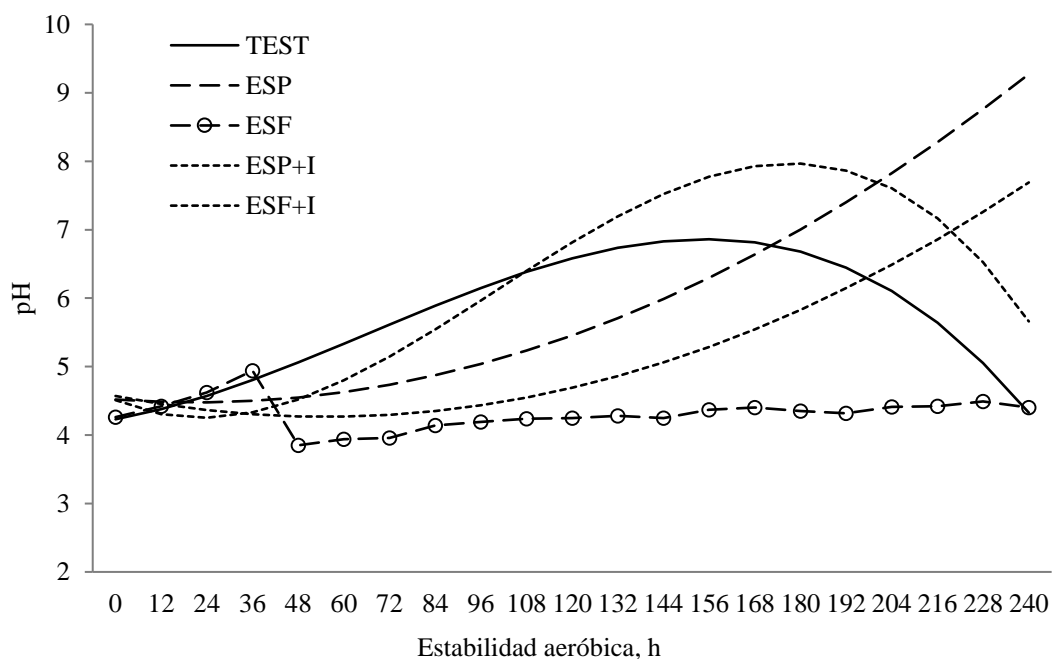
El tiempo para alcanzar la temperatura máxima de la masa ensilada, excepto para el ensilado hecho con grano de maíz rehidratado con ESF ($P<0.05$), fue superior a 200 h, con una diferencia significativa entre tratamientos en el pH final de los ensilados expuestos al aire durante 240 h (Cuadro 4, Figura 1).

Cuadro 4: Parámetros de estabilidad aeróbica de ensilados de grano de maíz sometidos a rehidratación

| Parámetros | Tratamientos | | | | | Valor de <i>P</i> |
|---|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| | TEST | ESP | ESF | ESP+I | ESF+I | |
| Estabilidad aeróbica, hora | 76 ^b | 84 ^a | 84 ^a | 84 ^a | 75 ^b | 0.0007 |
| Tiempo hasta alcanzar la temperatura máxima, hora | 234 ^a | 234 ^a | 104 ^b | 204 ^a | 201 ^a | 0.0001 |
| pH-240 h | 5.50±1.2 ^{ac} | 7.35±1.2 ^b | 4.40±0.3 ^c | 6.71±1.6 ^{ab} | 6.88±1.4 ^{ab} | 0.0006 |

TEST= ensilado de grano de maíz rehidratado con agua; ESF= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche fluido; ESF+I= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero fluido, más inoculante; ESP= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche en polvo reconstituido con agua; ESP+I= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero en polvo reconstituido con agua, más inoculante.

Figura 1: Valores de pH tras la exposición aeróbica de ensilados de grano de maíz rehidratados



Test: 6.06 ± 1.18 , $\hat{Y} = 4.23 + 0.01x + 0.0002x^2 - 0.000001x^3$, $R^2 = 0.72$, $P = 0.0011$, $CV = 9.54$; SWP: 5.38 ± 1.18 , $\hat{Y} = 4.52 - 0.0042x + 0.0001x^2$, $R^2 = 0.88$, $P = 0.028$, $CV = 21.88$; ESF: 4.31 ± 0.27 , $P = 0.123$, $CV = 6.26$; ESP+I: 6.37 ± 1.60 , $\hat{Y} = 4.51 - 0.024x + 0.0006x^2 - 0.000002x^3$, $R^2 = 0.92$, $P = 0.001$, $CV = 25.17$; SWP+I: 5.11 ± 1.40 , $\hat{Y} = 4.57 - 0.011x + 0.0001x^2$, $R^2 = 0.89$, $P = 0.005$, $CV = 27.35$.

Discusión

Calidad de la composición química

Se observó que el inoculante contribuyó a reducir la FDA en comparación con el tratamiento testigo. Estos valores más bajos de FDA pueden estar relacionados con la dilución del contenido de fibra evaluado⁽²⁰⁾ y con las enzimas celulolíticas presentes en los inoculantes, que degradan la fibra y alteran la estructura tridimensional de la pared celular del grano^(9,21), determinando resultados positivos para la digestibilidad de este alimento.

Los resultados de FDA y FDN para los ensilajes que utilizaron ESF coincidieron con los de Rezende *et al*⁽⁹⁾, quienes también observaron pequeñas reducciones en los niveles de FDA en los tratamientos con suero ácido asociado a inoculantes, y en general observaron un menor contenido de FDN en los tratamientos con rehidratación del grano de maíz con suero ácido sin inoculante. Aún no está claro cómo se producen las reducciones de los niveles de estos nutrientes para estas variables y para la fuente de suero líquido. Sin embargo, la acidez del suero contribuye a potenciar la fermentación, lo que, junto con la hidrólisis ácida de la hemicelulosa, puede reducir los niveles de estas fibras.

Los niveles de lignina en todos los ensilados, independientemente del tratamiento, podrían considerarse bajos, ya que el contenido obtenido en los granos de maíz antes de la rehidratación fue de 11.3 g/kg MS. Esta reducción puede ocurrir después del ensilaje, debido al proceso de hidrólisis ácida de las fibras y a la acidificación que debilitará las moléculas complejas de lignina⁽²⁰⁾ y así obtener valores más bajos de este componente. Sin embargo, la acción de las fuentes de fluido y suero de leche sobre las reducciones del contenido de lignina en los ensilados de grano de maíz rehidratado requiere estudios más específicos en términos de estructuras de fibra, ya que este nutriente, así como la FDN y la FDA, están directamente relacionados con la digestibilidad del alimento.

Los niveles de lignina determinados en el presente estudio para el tratamiento testigo difieren de los obtenidos por Oliveira *et al*⁽¹⁾, quienes encontraron valores de lignina de entre 13.7 y 14 g/kg MS en ensilados de grano de maíz rehidratados con agua más aditivo enzimático. Un factor que puede explicar esta variación es que los niveles de lignina presentes en los ensilados de grano rehidratado pueden variar ampliamente debido a la diversidad de cultivares de maíz disponibles, la fase y la gestión agronómica.

La adición del inoculante puede haber contribuido a un mayor valor del contenido de EE en el ESF + I, puesto que este aumento también fue observado por Tres *et al*⁽²²⁾ y Arcari

et al.⁽³⁾ en ensilados de grano de maíz rehidratado inoculados con *L. buchneri*. La fuente del ESF aumentó en EE en comparación con la de los ensilados para los tratamientos testigo y ESP. Este aumento puede explicarse por el potencial microbiológico y la disponibilidad de nutrientes que presenta el ESF como producto fresco⁽⁸⁾ en el momento de la rehidratación, ya que hubo un ajuste en la base de MS de las fuentes de líquido probadas, para una distribución homogénea de la carga de nutrientes presentada. Los niveles de EE determinados por el presente estudio en el tratamiento testigo fueron similares a los obtenidos anteriormente^(1,22,23), quienes identificaron valores de 53.1, 45.2 y 39.6 g de EE/kg de MS, respectivamente, en muestras de ensilados de grano rehidratados con agua sin inoculantes añadidos.

El uso de la fuente de líquido del ESP puede haber contribuido a los mayores niveles observados de cenizas, debido a que su composición tenía 60 g de cenizas/kg de MS, mientras que la ESF tenía 3.40 g de cenizas/kg de MS. Los valores de MS, PB, FDN, CHT y CNF de los ensilajes fueron similares a los resultados observados por Rezende *et al.*⁽⁹⁾ en ensilajes de grano de maíz rehidratados con suero, y por Da Silva *et al.*⁽¹⁰⁾ y Oliveira *et al.*⁽¹⁾ –quienes evaluaron en ensilados de granos de maíz rehidratados con agua más inoculantes, así como sus efectos sobre los nutrientes.

Perfil de fermentación

El ensilaje de grano de maíz rehidratado con ESF mostró una calidad de fermentación superior a la del ensilaje con ESP y agua, con el valor más bajo de NH₃-N a 0.7 g/kg NT después de la exposición al aire durante 240 h. Según McDonald *et al.*⁽²⁰⁾, conforme el pH disminuye rápidamente en el ensilaje, la fracción proteica se conserva y las concentraciones de NH₃-N serán menores, caracterizando así una fermentación adecuada. El aumento de las concentraciones de NH₃-N en los ensilados puede estar relacionado con la actividad proteolítica de los microorganismos de la población epífita y/o inoculada durante el ensilado, que afectará a la descomposición de la prolamina de los cereales, así como a la digestibilidad del almidón, y como consecuencia habrá mayores niveles de proteína disponible para la producción de NH₃-N⁽²¹⁾.

En el presente estudio, el uso de suero fluido puede haber contribuido a una rápida reducción del pH y a la conservación de la fracción proteica durante el almacenamiento y la exposición al aire debido a la baja actividad proteolítica de las bacterias ácido-lácticas^(9,24) presente en el perfil microbiológico del suero de leche⁽⁸⁾. Por el contrario, la inclusión del inoculante puede haber alterado el perfil de la población bacteriana del silo^(10,24) y, en consecuencia, redujo el contenido de prolamina de los ensilados inoculados durante la exposición al aire, ya que se observaron mayores concentraciones de proteína soluble y de NH₃-N en la apertura de los silos (Cuadro 2) y tras 240 h de exposición al aire (Cuadro 3), respectivamente, en los ensilados a los que se incorporaron los inoculantes, lo que puede indicar una mayor proteólisis^(5,21). Esta hipótesis fue apoyada por los resultados obtenidos por otros autores⁽¹⁰⁾, quienes al evaluar la adición de *L. buchneri* en ensilajes de grano de maíz húmedo y reconstituido, encontraron que el perfil

bacteriano del ensilaje se modificaba, aumentando la concentración de bacterias lácticas a medida que aumentaba el período de almacenamiento del ensilaje, con una mayor concentración de NH₃-N después de 90 días de almacenamiento en ambos tipos de ensilajes.

El valor de pH más bajo de 4.26 para el suero de leche en los silos de apertura reforzó la hipótesis de que el perfil microbiano del suero de leche fluido preservaba la proteína en los granos de maíz debido a su baja actividad proteolítica de las bacterias del ácido láctico, además de contribuir a una rápida caída del pH después del ensilado. Se sabe que la matriz almidón-proteína de los granos de maíz presenta una mayor degradación debida a la actividad microbiana que a la simple solubilización de los productos finales de la fermentación, como los ácidos⁽²¹⁾.

Los valores de pH observados después de 240 días de exposición al aire mostraron la acción de la fuente de líquido del SF en los ensilajes e inoculantes. La modificación del perfil bacteriano en los silos puede deberse a la adición de inoculantes con *L. buchneri*, que pueden crear nichos ecológicos y beneficiar a las bacterias proteolíticas en la conversión del ácido láctico en ácido acético, aumentando en consecuencia el pH durante el proceso de fermentación en este tipo de ambiente^(21,24). Este hecho se observó en los ensilados inoculados, que presentaron valores de pH más altos después de 240 h de exposición al aire (Cuadro 3).

El pH de una muestra de ensilado es una medida de su acidez; corresponde a la suma de las concentraciones de ácidos presentes en la masa ensilada, cuyos principales ácidos fueron el acético, el propiónico y el láctico. El ácido láctico es producido por las bacterias ácido-lácticas; tiene una mayor concentración y contribuye más a la disminución del pH durante la fermentación⁽²⁵⁾. Algunos autores^(12,20) consideran que los valores de pH de 3.8 a 4.2 son ideales; sin embargo, el pH en sí mismo no es capaz de inhibir la acción de los microorganismos indeseables, que también dependen de la velocidad de la reducción del pH observada a través del BC de los ensilados. La concentración de ácido láctico en el ESF y el ESF + I fue más expresiva en las muestras obtenidas para los ensilados al momento de la apertura de los silos (Cuadro 2), los cuales presentaron los valores más bajos de pH después de 240 h de exposición al aire.

El ensilaje de grano de maíz rehidratado con ESF mantuvo el pH en la apertura y después de la exposición al aire, mostrando valores considerados cercanos a los ideales para la calidad fermentativa del ensilaje. Este hecho también puede deberse a la composición del suero, el cual incluía azúcares que fueron utilizados como sustratos por las bacterias lácticas en el proceso de fermentación, contribuyendo a una rápida caída del pH. También se observaron valores considerables para el ESF, a diferencia del agua, que presentó valores de pH más altos en la apertura de los silos. Los resultados obtenidos en el tratamiento testigo coinciden con los de Oliveira *et al*⁽¹⁾, que encontraron en el ensilado de maíz rehidratado con agua valores de pH de 4.25 al momento de la apertura del silo y de 6.50 al quinto día de exposición al aire.

Los ensilajes inoculados que fueron independientes de las fuentes de líquido utilizadas mostraron los valores más bajos de BC en comparación con los de las fuentes del ESF y del tratamiento testigo (Cuadro 3), lo que podría caracterizarse como una acción importante del inoculante en términos de fermentación justo después del ensilaje, con un efecto directo de la inoculación en la velocidad de reducción del pH y la consecuente mejora de la BC del ensilaje. Según Jobim *et al*⁽²⁶⁾, esta medida depende de la composición de la planta en cuanto a los contenidos de PB, iones inorgánicos, y la combinación de ácidos orgánicos y sus sales, además de proporcionar información sobre la velocidad de reducción del pH, que debe ser baja para facilitar esta acidificación durante la fermentación, lo que culmina en una mejor conservación y calidad del ensilado. En el presente estudio, estas características (Cuadro 2) podrían considerarse para un BC positivo de los ensilados de grano de maíz rehidratado.

Estabilidad aeróbica

La pérdida de estabilidad aeróbica en los ensilados de grano de maíz rehidratados con agua y suero de leche se produjo después de 55 h⁽⁹⁾; sin embargo, en este trabajo se obtuvo una mayor estabilidad aeróbica con valores de 75 a 84 h de exposición sin perder estabilidad, lo que caracteriza un efecto positivo de la rehidratación. Uno de los factores que pueden influir en el deterioro de los ensilados es la humedad de la masa ensilada, ya que un alto contenido de humedad y una concentración elevada de ácido acético favorecen un medio idóneo para que se desarrollen microorganismos indeseables⁽⁹⁾. En el presente trabajo, el contenido de humedad estaba entre los intervalos recomendados, de 35 a 37, para una alta calidad de ensilado de grano rehidratado^(6,7), y las concentraciones de ácido acético fueron similares entre los ensilados. Además, el uso obligatorio de bacterias heterofermentativas en los inoculantes, como *L. buchneri*, aumenta la estabilidad aeróbica de los ensilados de grano de maíz húmedos y rehidratados^(5,7,27), lo que justifica los resultados obtenidos en cuanto a la pérdida de estabilidad de los ensilados inoculados a las 84 h de exposición al aire.

Por lo que respecta a la variable tiempo para alcanzar la temperatura máxima de la masa ensilada, dado que la tasa de calentamiento se obtuvo a través de los registros de temperatura máxima divididos entre el tiempo requerido para alcanzar la temperatura máxima, se observó que ésta se alcanzó del octavo al noveno día de exposición al aire, excepto para el ESF, que la alcanzó en el cuarto día, si bien los valores de temperatura máxima alcanzados para este ensilaje fueron bajos. En general, los ensilados de granos de maíz rehidratados, independientemente de la fuente de líquido utilizada para rehidratar los granos, fueron eficientes en cuanto al tiempo en que alcanzaron la temperatura máxima en este proceso. Esta justificación puede estar relacionada con el perfil fermentativo de estos ensilados y el mayor efecto del inoculante bacteriano utilizado, el cual mejora la estabilidad aeróbica de los ensilados. A pesar de que el ESF alcanzó la temperatura máxima antes que los otros ensilados, con un valor final de pH cercano al ideal (4.40) en términos de calidad, después de 240 h de exposición al aire, el ensilado seguía siendo superior, en términos cualitativos y de fermentación, a los de los otros

ensilados. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Rezende *et al*⁽⁹⁾, quienes observaron que tras 40 h de exposición aeróbica los ensilados de grano rehidratados aumentaban su temperatura, independientemente del líquido utilizado para la rehidratación.

Si bien la pérdida de estabilidad aeróbica para el ensilaje de grano de maíz rehidratado con ESF se produjo a las 84 h de exposición, y se observó que, ante el desafío que implica el tiempo de exposición al aire, este ensilado también presentó valores medios de pH inferiores a los de los ensilados elaborados con las otras fuentes de rehidratación (Figura 1). Esta característica de mantener la estabilidad tras la apertura de los silos puede explicarse por el perfil microbiano de la fuente de líquido utilizada para la rehidratación, la cual presenta una baja actividad proteolítica de las bacterias ácido-lácticas⁽²⁴⁾ y una aceleración de la fermentación del grano; éstas obedecen al hecho de que la presencia del ácido láctico ocasiona una reducción del pH tras el proceso de ensilado (Cuadro 2).

Tras la exposición al aire, los tratamientos que a los que se les agregó un inoculante microbiano también mostraron un valor de pH final menor que el del ESP, pero no menor que el del ESF sin el inoculante ni que el del ensilaje testigo (Cuadro 4). Esto demuestra que, aunque la inoculación prolongó eficazmente el tiempo al que se alcanzó la tasa de calentamiento de los ensilados, se podría seguir considerando que los valores de pH sobrepasaron los valores ideales, como en el caso del valor obtenido para el ESF. También se observó un aumento significativo del pH en los tratamientos con agua, ESP y ESP + I tras 60 h de exposición al aire (Figura 1). Los valores de pH de los ensilados aumentaron con la exposición al aire debido a la acción de levaduras que pueden utilizar el lactato como fuente de carbono y energía, favoreciendo un entorno apto para el crecimiento de mohos y bacterias aeróbicas, a los cuales se debe el deterioro del ensilado⁽²⁰⁾.

Los valores de pH del ensilado de grano de maíz rehidratado con ESF se mantuvieron más estables durante las 240 h de exposición y se acercaron a los valores al momento de la apertura del silo, en comparación con los de los otros tratamientos. Este comportamiento puede explicar la diferencia significativa en el valor del pH final de este tratamiento tras haber sido expuesto al aire. Sin embargo, el ensilado de grano de maíz rehidratado con agua, que también tuvo un valor de pH más bajo al final de la exposición al aire, no mostró un comportamiento estable durante dicha exposición. Por el contrario, el ensilado de grano de maíz rehidratado con ESP mostró un aumento constante del pH durante la exposición y alcanzó un valor de pH final más alto (7.35). Estos resultados son similares a los observados por Oliveira *et al*⁽¹⁾, quienes observaron en el pH de los ensilados de granos de maíz rehidratados con agua un aumento constante de las 48 h a las 120 h de exposición al aire. El pH final de los ensilados está influido por varios factores; pero, según Kung Junior *et al*⁽²⁵⁾, está más relacionado con la concentración de ácido láctico y CT en los alimentos ensilados, como se muestra en el Cuadro 2, en el que las mayores concentraciones de ácido láctico al momento de la apertura de los silos fueron para el ESF, seguido de los ensilados inoculados. Un estudio anterior⁽¹⁰⁾ demostró que la mayor estabilidad aeróbica alcanzada con un período más largo de almacenamiento de

los ensilados de grano de maíz rehidratados y húmedos inoculados con *L. buchneri* se debe a la acumulación de productos de fermentación tales como los ácidos acético y propiónico, que tienen propiedades antifúngicas.

Los ensilados de grano de maíz rehidratados con el tratamiento ESF fueron superiores según los parámetros de calidad evaluados en el presente estudio. Además, el uso del suero fluido en la rehidratación del grano puede considerarse como una fuente de líquido alternativa al agua que favorece la conservación de los alimentos ensilados y da a este subproducto un destino adecuado para la preservación del medio ambiente. Si bien se demostró que el suero en polvo dio lugar a una mejor calidad química y fermentativa en comparación con la fuente de líquido comúnmente utilizada, puede no ser una opción alternativa adecuada para rehidratar los granos, ya que para diluir el polvo antes de rehidratar el grano se requiere añadir agua, lo cual lo aleja de la producción de alimentos sostenible. Otro hecho que no favorece el uso de esta fuente de líquido es el encarecimiento del proceso debido que los diversos procesos que intervienen en la producción del suero en polvo elevan su precio de compra.

Conclusiones e implicaciones

El uso del suero fluido se presenta como una alternativa adecuada al uso del agua para la rehidratación de los granos de maíz para ensilaje, ya que además de ser una alternativa sostenible y que preserva el medio ambiente, también justifica su uso el hecho de que mejora la calidad química y fermentativa del ensilado, así como su estabilidad aeróbica. Por otra parte, los datos sugieren que es necesario realizar investigaciones más específicas sobre la acción del suero de leche en la reducción de las fibras del ensilado de grano de maíz rehidratado, y sobre el potencial microbiológico del producto como posible aditivo biológico para la conservación de este ensilado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al programa de posgrado en Ciencia Animal de la Universidad Estatal de Londrina (UEL, Londrina, Brasil) y a la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de la Enseñanza Superior (CAPES, Brasilia, Brasil) por la beca otorgada.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Literatura citada:

1. Oliveira ER, Takiya SC, Del Valle AT, *et al.* Effects of exogenous amylolytic enzymes on fermentation, nutritive value, and *in vivo* digestibility of rehydrated corn silage. *Anim Feed Sci Technol* 2019;251:86-95.

2. Ferraretto LF, Fredin SM, Shaver RD. Influence of ensiling, exogenous protease addition, and bacterial inoculation on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal *in vitro* starch digestibility in rehydrated and high-moisture corn. *J Dairy Sci* 2015;98:7318-7327.
3. Arcari MA, Martins CMMR, Tomazi T, Gonçalves JL, Santos MV. Effect of substituting dry corn with rehydrated ensiled corn on dairy cow milk yield and nutrient digestibility. *Anim Feed Sci Technol* 2016;221:167-173.
4. Ferraretto LF, Crump PM, Shaver RD. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *J Dairy Sci* 2013;96:533-550.
5. Kung Junior L, Schmidt RJ, Ebling TE, Hu W. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of ground and whole high moisture corn. *J Dairy Sci* 2007;90:2309-2314.
6. Silva CM, Amaral PNC, Baggio RA, *et al.* Estabilidade de silagens de grãos úmidos de milho e milho reidratado. *Rev Bras Saúde Prod Anim* 2016;17:331-343.
7. Da Silva NC, Nascimento CF, Nascimento FA, Resende FD, Daniel JLP, Siqueira GR. Fermentation and aerobic stability of rehydrated corn grain silage treated with different doses of *Lactobacillus buchneri* or a combination of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. *J Dairy Sci* 2018;101:4158-4167.
8. Rektor A, Vatai G. Membrane filtration of Mozzarella whey. *Desalination* 2004; 162:279-286.
9. Rezende AV, Rabelo SHC, Veiga MR, *et al.* Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Anim Feed Sci Technol* 2014;197:213-221.
10. Da Silva NC, Nascimento FC, Campos AMV, *et al.* Influence of storage length and inoculation with *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of high-moisture corn and rehydrated corn grain silage. *Anim Feed Sci Technol* 2019;251:124-133.
11. AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. (17th ed.) AOAC Internacional, Arlington, VA: AOAC International, 2000.
12. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;4:3583-3597.
13. Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. carbohydrate and protein availability. *J Anim Sci* 1992;70:3562-3577.

14. Chandler P. Energy prediction of feeds by forage testing explorer. *Feedstuffs* 1990; 62:1-12.
15. Hall MB. Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis. A laboratory manual. Gainesville, Florida, EUA, 2000.
16. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos, Instituto Adolfo Lutz, São Paulo. 2008;819-877.
17. Playne MJ, McDonald P. The buffering constituents of herbage and of silage. *J Sci Food Agric* 1966;17:264-268.
18. Taylor CC, Kung Junior L. The effect of *Lactobacillus buchneri* on fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. *J Dairy Sci* 2002;85:126-1532.
19. Phillip LE, Fellner V. Effects of bacterial inoculation of high-moisture ear corn on its aerobic stability, digestion, and utilization for growth by beef steers. *J Anim Sci* 1992;70:3178-3187.
20. McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. The biochemistry of silage. 2 ed. Marlow, UK, 1991.
21. Junges D, Morais G, Spoto MHF *et al.* Short communication: Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. *J Dairy Sci* 2017;100:9048-9051.
22. Tres TT, Bueno AVI, Jobim CC, Daniel JLP, Gritti VC. Effect of okara levels on corn grain silage. *Rev Bras Zootec* 2020;49:e20190184.
23. Mombach MA, Pereira DH, Pina DS, Bolson D, Pedreira BC. Silage of rehydrated corn grain. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2019;71:959-966.
24. Oude Elferink SJWH, Krooneman J, Gottschal JC, Spoelstra SF, Faber F, Driehuis F. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Appl Environ Microbiol* 2001;67:125-132.
25. Kung Junior L, Shaver RD, Grant RJ, Schmidt RJ. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J Dairy Sci* 2018;101:4020-4033.
26. Jobim CC, Nussio LG, Reis RA, Schmidt P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Rev Bras Zootec* 2007;36:101-119.
27. Basso FC, Bernardes TF, Roth APTP, Rabelo CHS, Ruggieri AC, Reis RA. Fermentation and aerobic stability of high-moisture corn silages inoculated with different levels of *Lactobacillus buchneri*. *Rev Bras Zootec* 2012;41:2369-2373.

Cuadro 1: Calidad química (g/kg MS) de los ensilados de maíz en grano rehidratados con agua, suero en polvo y suero fluido

| Variables ² | Tratamiento ¹ | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|-----|-----|-----|------------------------|
| | TEST | ESF | | ESP | | EEM ³ | ESF | ESP | I | ESF × ESP ⁴ |
| | | Sin | Con | Sin | Con | | | | | |
| MS | 633.4 ± 0.38 | 628.3 ± 0.53 | 637.0 ± 0.34 | 629.8 ± 0.68 | 625.7 ± 1.84 | 0.97 | ns | ns | ns | ns |
| Ceniza | 11.3 ± 0.25 | 11.1 ± 0.06 | 11.8 ± 0.05 | 12.0 ± 0.07 | 12.7 ± 0.06 | 0.06 | ns | ** | * | ** |
| PB | 103.0 ± 0.19 | 104.7 ± 0.42 | 103.2 ± 0.27 | 101.3 ± 0.17 | 104.7 ± 1.74 | 0.31 | ns | ns | ns | ns |
| EE | 37.0 ± 0.55 | 37.3 ± 0.35 | 41.8 ± 0.47 | 35.4 ± 0.30 | 43.6 ± 0.30 | 0.40 | ** | ns | ns | * |
| FDN | 122.1 ± 2.07 | 112.8 ± 0.77 | 128.6 ± 1.42 | 137.4 ± 2.21 | 101.4 ± 0.96 | 1.44 | ns | ns | ns | ns |
| FDA | 23.0 ± 0.46 | 20.2 ± 0.23 | 22.1 ± 1.00 | 14.7 ± 0.75 | 21.0 ± 0.21 | 0.27 | ns | * | ** | * |
| Lignina | 3.4 ± 0.57 | 3.3 ± 0.27 | 7.8 ± 0.14 | 3.4 ± 0.23 | 4.2 ± 0.31 | 0.24 | *** | ns | ns | ** |
| CHT | 847.7 ± 0.77 | 847.0 ± 0.46 | 843.2 ± 0.22 | 851.3 ± 0.36 | 845.9 ± 2.01 | 1.04 | ns | ns | ns | ns |
| NDT | 812.9 ± 0.02 | 813.1 ± 0.01 | 812.8 ± 0.05 | 813.3 ± 0.04 | 813.0 ± 0.01 | 0.02 | ns | *** | *** | ** |
| CNF | 718.8 ± 2.64 | 734.2 ± 1.01 | 714.6 ± 1.29 | 714.0 ± 2.39 | 744.5 ± 2.49 | 2.12 | ns | ns | ns | ns |

¹ Tratamiento: TEST= ensilado de grano de maíz rehidratado con agua; ESF= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche fluido; ESF + I= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero fluido, más inoculante; ESP= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche en polvo reconstituido con agua; ESP + I= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero en polvo reconstituido con agua, más inoculante.

² Variables: MS= Materia seca (g/kg de materia natural); Ceniza= materia mineral; PB= proteína cruda; EE= extracto de éter; FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida; CHT= carbohidratos totales; NDT= Nutrientes digeribles totales; CNF= carbohidratos no fibrosos.

³ EEM= error estándar de la media.

⁴ Interacción "ESF x ESP".

* $P < 0.01$; ** $P < 0.05$; *** $P < 0.10$; ns= no significativo.

Cuadro 3: Calidad fermentativa (g/kg MS) de los ensilados de maíz en grano rehidratados con agua, suero en polvo y suero fluido

| Variables ² | Tratamiento ¹ | | | | | EEM ³ | ESF | ESP | I | ESF × ESP ⁴ |
|------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|-----|-----|----|------------------------------|
| | TEST | ESF | | ESP | | | | | | |
| | | Sin | Con | Sin | Con | | | | | |
| NH3-N-0 h | 0.6 ± 0.04 | 0.5 ± 0.02 | 0.4 ± 0.01 | 0.5 ± 0.009 | 0.4 ± 0.03 | 0.02 | ns | ns | ns | ns |
| NH3-N-240 h | 1.9 ± 0.08 | 0.7 ± 0.01 | 1.3 ± 0.04 | 0.9 ± 0.03 | 2,20 ± 0.08 | 0.05 | * | * | ** | * |
| pH-0 h | 4.53 ± 0.07 | 4.26 ± 0.09 | 4.43 ± 0.03 | 4.38 ± 0.14 | 4.35 ± 0.12 | 0.10 | ** | * | ns | ns |
| pH-240 h | 6.13 ± 0.08 | 4.31 ± 0.11 | 5.14 ± 0.70 | 5.44 ± 0.41 | 6.47 ± 0.18 | 0.33 | * | *** | * | * |
| BC | 259.9 ± 1.78 | 276.8 ± 5.27 | 266.3 ± 1.73 | 231.6 ± 3.03 | 243.4 ± 1.67 | 3.11 | ns | ns | ** | ns |

¹ Tratamiento: TEST= ensilado de grano de maíz rehidratado con agua; ESF= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche fluido; ESF + I= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero fluido, más inoculante; ESP= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero de leche en polvo reconstituido con agua; ESP + I= ensilado de grano de maíz rehidratado con suero en polvo reconstituido con agua, más inoculante

² Variables: bc= capacidad de amortiguación (e.mg/100g MS); NH3-N= nitrógeno amoniacal g/kg de nitrógeno total) y el pH en la apertura (0h) y la exposición al aire (240 h);

³ EEM= error estándar de la media;

⁴ Interacción "ESF x ESP".

* $P < 0.01$; ** $P < 0.05$; *** $P < 0.10$; ns= no significativo.