

**Efecto de la incorporación de abonos verdes de leguminosas y de la inoculación microbiana en la calidad de ensilajes de *Zea mays* L.****Effect of the incorporation of green manures of legumes and of microbial inoculation on the quality of *Zea mays* L. silages**

Edwin Castro-Rincón<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>, Andrea Milena Sierra-Alarcón<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6725-2526>, José Edwin Mojica-Rodríguez<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7751-8631>, Juan Evangelista Carulla-Fornaguera<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8854-1850>, Carlos Lascano-Aguilar<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9211-5782>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Obonuco, Nariño, Colombia. <sup>2</sup>Centro de Investigación Tibaitata, Bogotá, Colombia. <sup>3</sup>Centro de Investigación Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. <sup>4</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: [ecastro@agrosavia.co](mailto:ecastro@agrosavia.co)

**Resumen**

**Objetivo:** Evaluar dos manejos de incorporación de abono verde de cuatro leguminosas y el uso de inoculantes microbianos en la calidad del ensilaje de *Zea mays* L. en el trópico seco colombiano.

**Materiales y Métodos:** El experimento se desarrolló en el Centro de Investigación Motilonia, localizado en el Valle del Cesar, Colombia. Se aplicó un diseño en bloques al azar, con arreglo de parcelas subdivididas. Se evaluaron como tratamientos la integración de los factores época de incorporación del abono, tipo de abono verde (cuatro leguminosas, control sin incorporación de la leguminosa y testigo con fertilización nitrogenada) y uso o no de inoculación microbiana del ensilaje. Se determinó la materia seca, la fibra detergente neutro y la fibra detergente ácido, la proteína bruta, la digestibilidad *in vitro*, el pH, el nitrógeno amoniacal y la concentración de ácido láctico, acético y butírico.

**Resultados:** No hubo efecto de la época de incorporación en la calidad del ensilaje. Se halló mayor contenido de materia seca (31,9 y 30,7 %), proteína bruta (8,9 y 8,0 %) y DIMVS (86,0 y 58,9 %) en el silo inoculado con relación al no inoculado. En los parámetros de la fermentación, se encontró menor valor de pH (3,6 y 4,0), NH<sub>3</sub> (38 y 4,4 %), ácido acético (1,9 y 2,4 %), butírico (0,3 y 0,4 %) y aumento del ácido láctico (7,7 y 6,25) en el ensilaje inoculado con respecto al no inoculado.

**Conclusiones:** Con independencia de la época de incorporación y de la leguminosa usada como abono verde, la inoculación de los ensilajes mejoró la calidad nutricional y sus parámetros de fermentación.

**Palabras clave:** inoculación, leguminosas forrajeras, valor nutritivo, silos

**Abstract**

**Objective:** To evaluate two managements of incorporation of green manure from four legumes and the use of microbial inoculants on the quality of *Zea mays* L silage in the Colombian dry tropic.

**Materials and Methods:** The experiment was conducted at the Motilonia Research Center, located in the Cesar Valley, Colombia. A randomized block design was applied, with split-plot arrangement. The integration of the factors season of incorporation of manure, type of green manure (four legumes, control without incorporation of the legume and control with nitrogen fertilization) and use or not of microbial inoculation of the silage, were evaluated as treatments. The dry matter, neutral detergent fiber and acid detergent fiber, crude protein, *in vitro* digestibility, pH, ammoniacal nitrogen and concentration of lactic, acetic and butyric acid, were determined.

**Results:** There was no effect of the incorporation season on silage quality. Higher content of dry matter (31,9 and 30,7 %), crude protein (8,9 and 8,0 %) and IVDMD (86,0 and 58,9 %) was found in the silo inoculated with regards to the non-inoculated one. In the parameters of fermentation, lower value of pH (3,6 and 4,0), NH<sub>3</sub> (38 and 4,4 %), acetic acid (1,9 and 2,4 %), butyric (0,3 and 0,4 %) and increase of lactic acid (7,7 and 6,25) were noted in the inoculated silage compared with the non-inoculated one.

**Conclusions:** Independently from the incorporation season and from the legume used as green manure, the inoculation of the silages improved the nutritional quality and their fermentation parameters.

**Keywords:** inoculation, forage legumes, nutritional value, silos

**Introducción**

La producción ganadera en el trópico seco colombiano se afecta drásticamente por los períodos secos que tienen lugar durante el año (diciembre-marzo y

junio-octubre), en los que existe marcada disminución de la producción de forraje para la alimentación de los rumiantes. Como alternativa a esta situación, se recurre a la producción de alimentos

Recibido: 04 de marzo de 2020

Aceptado: 14 de diciembre de 2020

Como citar este artículo: Castro-Rincón, E.; Sierra-Alarcón, Andrea M.; Mojica-Rodríguez, J. E.; Carulla-Fornaguera, J. & Lascano-Aguilar, C. Efecto de la incorporación de abonos verdes de leguminosas y la inoculación microbiana en la calidad de ensilajes de *Zea mays* L. *Pastos y Forrajes*. 43 (4):315-325, 2020.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

conservados, como el ensilaje de *Zea mays* L., que, al depender de fertilización y riego, es una tecnología de alto costo, a la que no tienen acceso todos los productores (Mojica-Rodríguez *et al.*, 2019).

Como estrategia de producción sostenible para cubrir la producción de forrajes conservados, surge el uso de los abonos verdes, que tiene entre sus beneficios la reducción de la erosión del suelo, el mejoramiento de la calidad del suelo y el aumento de la biodiversidad en el área de cultivo (Castro *et al.*, 2017), bondades que inciden en la producción del cultivo siguiente. No obstante, los trabajos con abono verde en diferentes zonas se han desarrollado desde la perspectiva de *Z. mays* como grano (Droppelmann *et al.*, 2017), y no como forraje. Por tanto, se hace necesario investigar acerca del uso de los abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros destinados a ensilaje, con el empleo de tecnologías ya evaluadas, que tienen como propósito mejorar las condiciones de fermentación del silo.

Fischler y Wortmann (1999), en el este de Uganda, utilizaron *Crotalaria ochroleuca* L, *Mucuna pruriens* (L) DC, *Lablab purpureus*, *Canavalia ensiformis* (L) DC como abonos verdes, y lograron rendimientos de grano de *Z. mays* de 50 a 60 % más altos en comparación con los rendimientos sin abono verde. En Kenia, después de incorporar *M. pruriens*, *C. ensiformis*, *C. ochroleuca* y *L. purpureus*, aumentó la producción de grano de *Z. mays* de 35 a 100 % en comparación con la aplicación de fertilizante nitrogenado (Kinyua *et al.*, 2019).

En otros estudios, con la incorporación de leguminosas la producción de *Z. mays* ha aumentado hasta 18 % por encima del testigo e incluso, hasta 10 % con el uso de la fertilización nitrogenada (Scotta *et al.*, 2018). Un ejemplo exitoso de la integración de abono verde a la producción de cultivos forrajeros para la alimentación animal es el trabajo realizado por CIAT (2011) en Nicaragua, con *Canavalia brasiliensis* (Mart.) ex. Benth, en un sistema de siembra intercalada de *Z. mays*-*Canavalia* y pastoreo de residuos de cosecha de *Z. mays*, donde se obtuvo aumento de la producción de leche (10-15 %) y del grano de *Z. mays* (15-20 %). Además de las investigaciones enfocadas en la producción de *Z. mays* para producción de ensilaje, se han realizado estudios en los que se documenta el mejoramiento de los parámetros de fermentación por medio de inoculantes bacterianos (Castillo-Jiménez *et al.*, 2009), donde se destaca un adecuado descenso del pH (Tobia y Villalobos, 2004), bajos contenidos de  $\text{NH}_3$  (Forouzmand *et al.*, 2005), aumento en la producción

de ácido láctico y disminución de los ácidos acético y butírico (Blajman *et al.*, 2018). En algunos casos también se ha informado el mejoramiento de la calidad nutricional, específicamente de la proteína (Espinosa-Guerra *et al.*, 2017).

A partir de que los forrajes para la conservación, producidos con el uso de abono verde como fuente de nutrientes, podrán ser incluidos en los sistemas de alimentación del ganado durante las épocas de escasez de forraje, se adiciona el uso de inoculantes microbianos como un factor de mejoramiento del material conservado. Por tanto, este estudio tuvo como objetivo evaluar dos manejos de incorporación de abono verde de cuatro leguminosas y el uso de inoculantes microbianos en la calidad del ensilaje de *Z. mays* en el trópico seco colombiano.

## Materiales y Métodos

**Localización y clima.** El experimento se desarrolló en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA, localizado en la microrregión Valle del Cesar, ubicada a 10° 11' latitud norte y 73° 15' longitud oeste, a 160 msnm. La temperatura media anual de esta microrregión es de 29 °C y la precipitación promedio anual de 1 360 mm. El Valle del Cesar se enmarca en la zona agroecológica del trópico seco colombiano.

**Tratamiento y diseño experimental.** Los tratamientos con ensilaje se incluyeron en un diseño en bloques completos al azar, con arreglo de parcelas subdivididas. La parcela principal fue la época del año, con un área de 608 m<sup>2</sup> (32 x 19 m), donde se incluyeron las subparcelas de 20 m<sup>2</sup> (4 x 5 m) con las leguminosas usadas como abono verde y los respectivos testigos (sin incorporación de la leguminosa y fertilización nitrogenada) y la subsubparcela, con inclusión o no de inóculo en el ensilaje. Cada una de ellas contó con tres replicas. Se establecieron dos parcelas principales y seis subparcelas, con tres réplicas por cada unidad experimental (36). Los tratamientos se describen a continuación.

- Parcela 1. Se utilizó abono verde sembrado al inicio de las lluvias del primer semestre y se incorporó al final de las lluvias del mismo semestre; la siembra de *Z. mays* se realizó al inicio de las lluvias del segundo semestre. Subparcelas: 1) *C. brasiliensis* Mart. ex. Benth, 2) *Vigna unguiculata* (L.) Walp, 3) *Clitoria ternatea* L, 4) *L. purpureus* L, 5) testigo con aplicación de 50 kg N ha<sup>-1</sup> y 6) testigo sin incorporación de leguminosa.
- Parcela 2. Se usó el abono verde, sembrado al final de las lluvias del primer semestre y se incorporó

al final de la época seca, seguido por la siembra de *Z. mays* al inicio de las lluvias del segundo semestre. Subparcelas: 1) *C. brasiliensis* 2) *V. unguiculata* 3) *C. ternatea*, 4) *L. purpureus*, 5) testigo con aplicación de 50 kg N ha<sup>-1</sup> y 6) testigo sin incorporación de leguminosa.

**Elaboración de ensilaje.** En cada subparcela se cosechó el forraje del cultivo indicador y se elaboraron seis microsilos en tubo de PVC de 2 kg. De estos, se inocularon tres, y tres se dejaron sin inocular. Se inoculó con bacterias ácido lácticas, en una concentración de 1,0 x 10<sup>15</sup> UFC/g de forraje en el momento de la preparación de los microsilos.

**Variables medidas en el ensilaje.** En los microsilos (tres por tratamiento) se determinó la calidad nutricional, después de 60 días de fermentación del forraje. Se midieron en muestras liofilizadas las variables: humedad (AOAC, 2016), ceniza, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) según Van Soest *et al.* (1991); contenido celular por diferencia, proteína bruta (PB) por el método de Kjeldahl (AOAC, 2016); digestibilidad *in vitro* de acuerdo con Tilley y Terry (1963), pH con potenciómetro (AOAC, 2016), nitrógeno amoniacal (AOAC, 2016); concentración de ácido láctico, acético y butírico por cromatografía de gases (Peters *et al.*, 1989).

**Análisis estadístico.** Las variables de respuesta (calidad nutricional del ensilaje) se sometieron a un análisis de varianza, previa verificación de los supuestos de normalidad, la independencia y homogeneidad. Las diferencias entre medias se determinaron mediante las pruebas de comparación de medias de Tukey con el programa SAS®, versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2013). De acuerdo con el diseño estadístico utilizado, cuando se presentó interacción entre los factores (época-leguminosa-inoculación), los resultados se mostraron gráficamente. Para el análisis individual de los factores se utilizaron las tablas.

## Resultados y Discusión

El contenido de MS no se afectó por la época ni por la leguminosa incorporada. Fue mayor en los tratamientos con inoculación ( $p < 0,05$ ); alcanzó un valor de 31,9 % y 30,7 % sin inoculación (tabla 1).

Filya (2003) informó que la presencia de inóculos de bacterias ácido-lácticas mejoraron la estabilidad de la MS en ensilajes de *Z. mays* y *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Esto se puede explicar por el efecto directo de las bacterias en la actividad de las levaduras durante el proceso fermentativo, al disminuir

la supervivencia e inhibir el crecimiento de estas (Reyes-Gutiérrez *et al.*, 2018).

En la figura 1 se muestra el contenido de PB, cuando se presentó una interacción significativa ( $p < 0,05$ ) de la leguminosa y la inoculación. Se hallaron los mayores valores de PB en los tratamientos donde el ensilaje se inoculó. La PB ( $p < 0,05$ ) fue mayor en los tratamientos de 0 nitrógeno y *C. ternatea* (9,1 %) con inoculación, y los menores valores se hallaron con *C. ternatea* y 0 nitrógeno sin inoculación (7,1 y 7,0 %). Esto puede obedecer a que la inoculación con lactobacilos acelera la tasa de fermentación inicial del ácido láctico, reduce el pH y genera una reducción en la degradación (proteólisis) y pérdida de proteína durante el proceso de fermentación (Silva *et al.*, 2017; Ertekin y Kızılsimşek, 2019).

Los contenidos de PB del presente estudio se encuentran en el rango obtenido por Villa *et al.* (2010), los cuales reportaron entre 8,1-9,0 % de PB. Sin embargo, fueron superiores a los informados por Lajús *et al.* (2020), quienes refirieron valores de PB de 6,5-7,5 %.

Además de la reducción en la proteólisis, en este trabajo se observó el efecto directo de la inoculación en el contenido de proteína, tal como describieron Espinoza-Guerra *et al.* (2017) quienes encontraron un incremento de 6,5 a 10,2 % en *Z. mays* en el material inoculado. Este incremento se asocia, en algunos casos, al aumento en la biomasa microbiana por el efecto de la inoculación (Miranda-Yuquilema *et al.*, 2017). No obstante, en otros estudios con la misma especie no se evidenciaron mejoras en los valores de proteína asociados a la inoculación del ensilaje (Lajús *et al.*, 2020).

Se ha documentado que además del uso de inoculantes, influye la inclusión de leguminosas, ya que se halló un aumento en la PB de 8,5 a 10 % en silos de *Z. mays* con la inclusión de *V. unguiculata* o *L. purpureus* (La-Guardia-Nave y Corbin, 2018).

Para FDN hubo interacción significativa ( $p < 0,05$ ) entre época, tipo de leguminosa e inoculación (fig. 2). Se observó mayor contenido de FDN en el tratamiento de *V. unguiculata* sin inóculo (61,7 %) con respecto al de *V. unguiculata* con inoculación (57,1 %).

Se presentó interacción significativa entre época y tipo de leguminosa ( $p < 0,05$ ). El mayor contenido se registró en los tratamientos con fertilización química (50 kg de N) en la época 1 (61,7 %) y *L. purpureus* en la 2 (61,7 %), y el menor en *V. unguiculata* (57,4 %) en la época 2 (fig. 3).

El valor de la FDN se asoció a los tres factores evaluados. Fue representativa la interacción de la

Tabla 1. Calidad nutricional en el silo de *Z. mays*, según los factores en estudio (%).

Tratamiento	MS	PB	FDN	FDA	DIMVS
<b>Época</b>					
1	31,1	8,5	60,2	43,6	59,6
2	31,5	8,5	60,0	43,2	59,4
EE ±	0,349	0,004	0,095	0,110	0,886
Valor - P	0,009	0,849	0,553	0,385	0,562
<b>Leguminosa</b>					
0 N	31,6	8,1b	59,5b	43,5	58,6
50 kg de N	31,2	8,7a	61,4a	43,5	60,6
<i>C. brasiliensis</i>	31,5	8,9a	59,3b	43,6	59,3
<i>C. ternatea</i>	31,2	8,1b	59,4b	43,3	58,8
<i>L. purpureus</i>	31,6	8,7a	61,4 <sup>a</sup>	43,4	60,5
<i>V. unguiculata</i>	30,9	8,9a	59,4b	43,3	59,2
EE ±	0,495	0,164	2,731	1,367	3,960
Valor - P	0,039	< 0,0001	0,002	0,998	0,024
<b>Inoculación</b>					
Sin inóculo	30,7	8,1	61,0	43,6	59,0
Con inóculo	31,9	9,0	59,2	43,3	60,0
EE ±	0,360	0,134	2,437	3,144	2,781
Valor - P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,497	0,013
Época x leguminosa	NS	NS	S	S	NS
Época x inoculación	NS	NS	NS	NS	NS
Leguminosa x inoculación	NS	S	S	NS	NS
Época x leguminosa x inoculación	NS	NS	S	NS	NS

Medias seguidas por letras desiguales en la misma columna difieren para  $p < 0,05$

Época 1: abono verde, sembrado al inicio de lluvias del primer semestre e incorporación al final de las lluvias del mismo.  
Época 2: abono verde, sembrado al final de las lluvias del primer semestre e incorporación al final de la época seca.

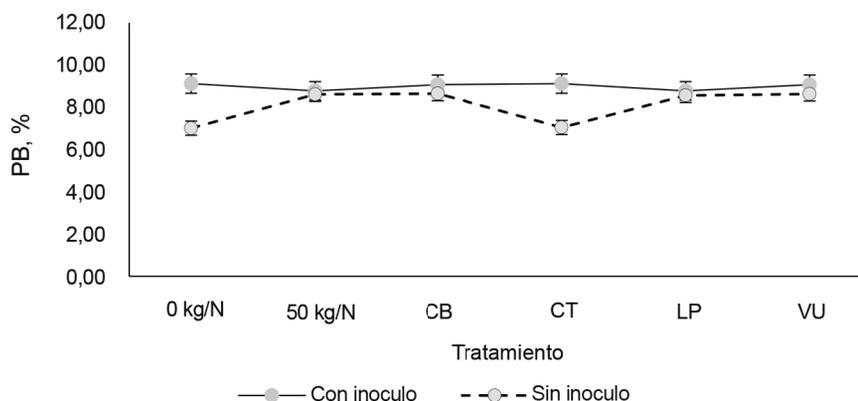


Figura 1. Interacción leguminosa e inoculación para el contenido de proteína en ensilajes de *Z. mays*.

CB: *C. brasiliensis*, CT: *C. ternatea*, LP: *L. purpureus* y VU: *V. unguiculata*  
 $p < 0,05$

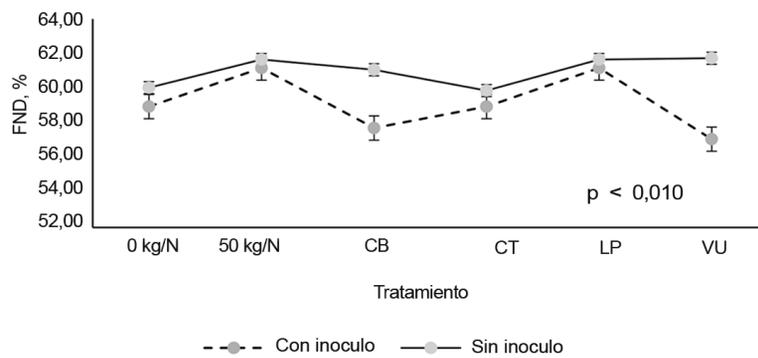


Figura 2. Interacción leguminosa e inoculación para el contenido de FDN en ensilajes de *Z. mays*.  
 CB: *C. brasiliensis*, CT: *C. ternatea*, LP: *L. purpureus* y VU: *V. unguiculata*  
 $p < 0,05$

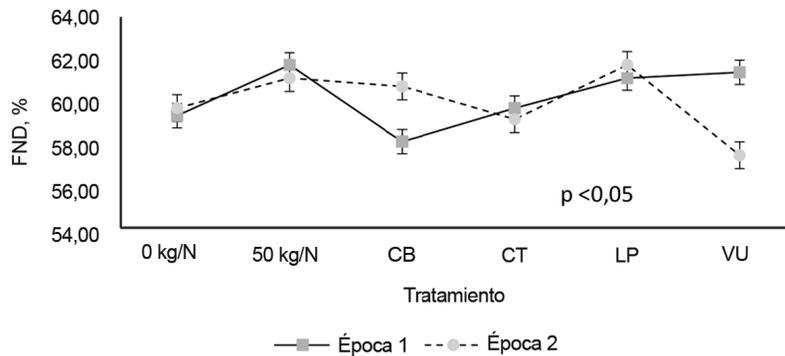


Figura 3. Interacción época e inoculación para el contenido de FDN en ensilajes de *Z. mays*.  
 CB: *C. brasiliensis*, CT: *C. ternatea*, LP: *L. purpureus* y VU: *V. unguiculata*  
 $p < 0,05$

leguminosa con el inóculo, donde hubo menor contenido en los tratamientos con la inoculación y los provenientes de leguminosas incorporadas.

Phelan *et al.* (2015) señalan que la inclusión de leguminosas como abono verde reduce los contenidos de FDN en los cultivos de gramíneas, debido a la tasa de fertilización de N. La información encontrada sobre la interacción inoculación y contenido de FDN es diversa, y en ella se menciona desde la disminución por el uso de inoculantes (Mier-Quiroz, 2009) hasta su aumento (Castillo-Jiménez *et al.*, 2009).

Los contenidos de FDN registrados en este estudio están por encima de los valores informados por Silva *et al.* (2018) en *Z. mays* sin inoculación (31,8-44,1 %), y a los de Lajús *et al.* (2020). Asimismo, superan a los que declaran Silva *et al.* (2018) con inoculación.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que el contenido de FDN puede variar asociado a otros factores, como la edad de cosecha, el tamaño de partícula, las condiciones ambientales y la relación entre el número de mazorcas y la variedad de *Z. mays* (Gallo *et al.*, 2016).

En el contenido de FDA, la respuesta asociada a la inoculación no fue tan clara, y resultó significativa (fig. 4) por el efecto de la época y de la leguminosa incorporada ( $p < 0,05$ ). Esto resulta contrario a lo que informan otros estudios, donde hubo efecto directo del uso de inóculos en ensilajes de *Z. mays*, con un aumento en el contenido de FDA debido a la inoculación (Cubero *et al.*, 2010).

El mayor contenido de FDA se registró en el tratamiento de *V. unguiculata* en la época 1 (44,6 %), y el menor en la misma especie, pero en la época 2 (42,1 %). Los rangos registrados en el presente

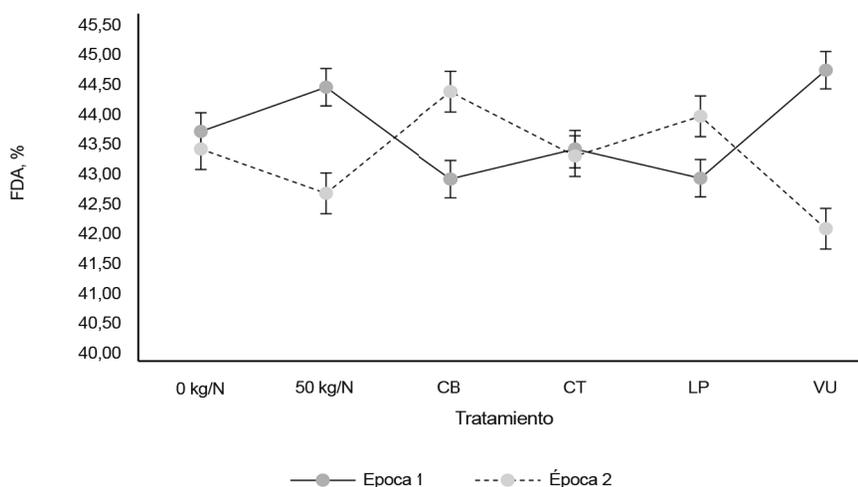


Figura 4. Interacción época e inoculación para el contenido de FDA en ensilaje de *Z. mays*.

CB: *C. brasiliensis*, CT: *C. ternatea*, LP: *L. purpureus* y VU: *V. unguiculata*  
 $p < 0,05$

estudio (43,3-43,6 %) se encuentran por encima de los informados por Villa *et al.* (2010) y Skonieski (2017) para silo de *Z. mays*.

En cuando a la DIVMS, se presentó un aumento directo asociado a la inoculación. Ello coincide con lo reportado por Espinoza-Guerra *et al.* (2017) en silo de *Z. mays*. Sin embargo, aun con el aumento en la DIVMS, los valores de este estudio fueron inferiores a los que registraron Villa *et al.* (2010) en *Z. mays* (64,3-65,5 %) a los 56 días de edad, en diferentes zonas de clima cálido en Colombia. También se hallan por debajo de los informados por Jiménez *et al.* (2005) en la asociación *C. brasiliensis* y *Z. mays* (63,2 %).

En este caso, se debe tener en cuenta que la inoculación puede afectar la FDN, FDA y DIVMS, lo que es favorable para la preservación de la calidad del material ensilado, ya que evita que se produzca la degradación de la MS y, con ello, de los componentes de fibra a nivel del silo, pues serán fuente de nutrimentos para los microorganismos del rumen, donde se debe realizar el proceso de degradación de la fibra como factor de producción de ácidos grasos volátiles (Kung *et al.*, 2018).

En cuanto a la DIVMS, hubo efecto directo de la inoculación ( $p < 0,05$ ), independientemente de la época y de la leguminosa incorporada. La mayor DIMVS se obtuvo en las parcelas con inoculación (60,0 %) con respecto a las que no se inocularon (59,0 %). Esto se puede relacionar con una caída más rápida del pH, que disminuye la supervivencia

de los microorganismos clostridiales. Ello evita la solubilización y la degradación de los nutrientes solubles, durante la fase inicial del ensilaje (Kung *et al.*, 2018).

Se debe considerar que el proceso de ensilaje no mejora la calidad nutricional del material original (Vanegas-Ruiz y Codero-Ahiman, 2019). Por lo tanto, el uso de aditivos se debe considerar como una alternativa para optimizar el proceso de ensilaje y, en algunos casos, incrementar el valor nutricional y los parámetros de fermentación (Muck *et al.*, 2018). Sin embargo, al igual que ocurrió en este estudio, Kung *et al.* (2008) hallaron aumento (10-15 %) en el contenido de MS de *Z. mays* posterior al proceso de inoculación, con valores superiores a los informados para *Z. mays* sin ensilar (32,9-33,5 %); ello se relaciona con el empleo de microsilo, que no permite la salida de efluentes.

Por otra parte, el pH del silo mostró interacción de la época y la leguminosa incorporada ( $p < 0,05$ ). El menor pH se presentó en el tratamiento *C. brasiliensis* en la época 1 (3,72) con respecto a *C. brasiliensis* en la 2 (3,92). No hubo efecto en el pH asociado a la época, pero sí asociado a la inoculación, donde el pH disminuyó (fig. 5).

Generalmente, el rango de pH en este estudio se corresponde con lo informado por Silva *et al.* (2018) y Fernandes *et al.* (2019) para un ensilaje adecuado (3,7-4,2).

Los valores bajos y adecuados de pH permiten inferir una dominancia en la producción de ácido

láctico y su beneficio para la alimentación de los rumiantes, ya que en condiciones normales de alimentación el ácido láctico que proviene del forraje se convierte en propiónico en el rumen (Kung *et al.*, 2018). El valor bajo de pH, es indicativo de una adecuada conservación del material, lo que se adiciona al efecto benéfico de la inoculación en la fermentación y el rápido descenso del pH (Jankowska *et al.*, 2017). Lo anterior puede reducir las pérdidas por descomposición anaerobia y evitar el crecimiento de microorganismos no deseados (Gómez-Guarrola *et al.*, 2015).

En cuanto al  $NH_3$ , hubo interacción de la época y la leguminosa ( $p < 0,05$ ). El mayor contenido de  $NH_3$  se registró en el tratamiento *C. ternatea* en la

época 2 (3,6 %) con respecto a 0 N en la época 2 (3,8 %). Se pudo observar que la inoculación disminuyó el contenido de  $NH_3$ , independientemente de la época de incorporación y la leguminosa (fig. 6).

En este estudio, el rango de  $NH_3$  ( $NH_3/NT$ ) se encuentra en el intervalo informado como deseable ( $< 7,0$ ) para un ensilaje de maíz (Kung *et al.*, 2018). También está acorde con lo informado por López-Herrera y Briceño-Arguedas (2017) en ensilaje mixto de *V. unguiculata* y *Z. mays* (3,9 %), en los cuales se produce una disminución de  $NH_3$  asociado al uso de inóculos (Gallo *et al.*, 2018).

En general, se puede decir que los contenidos de  $NH_3$  en este estudio fueron adecuados, dado que un incremento de  $NH_3$  por encima de 12 % indica

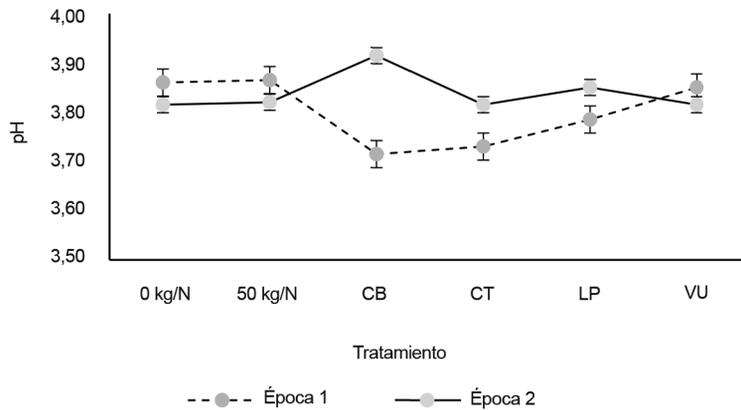


Figura 5. Interacción época y leguminosa para el pH en silos de *Z. mays*.  
 CB: *C. brasiliensis*, CT: *C. ternatea*, LP: *L. purpureus* y VU: *V. unguiculata*  
 $p < 0,05$

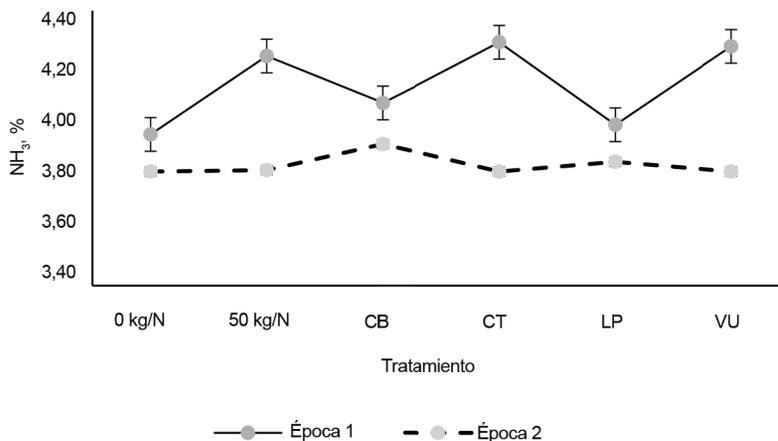


Figura 6. Interacción época y leguminosa para el  $NH_3$  (% Nt) en silos de *Z. mays*.  
 CB: *C. brasiliensis*, CT: *C. ternatea*, LP: *L. purpureus* y VU: *V. unguiculata*  
 $p < 0,05$

aumento de la actividad proteolítica, y pérdida de proteína del silo (Gang *et al.*, 2020).

En cuanto al contenido de ácidos grasos volátiles (AGVs), para el ácido láctico, el acético y el butírico, no se presentó efecto de la época ni de la leguminosa incorporada ni interacción de los factores. Se observaron diferencias asociadas a la inoculación del ensilaje ( $p < 0,05$ ).

Con mayores contenidos de ácido láctico en los tratamientos con inoculación (7,8 %) con respecto a aquellos en los que no la hubo (6,3 %), el contenido de ácido acético disminuyó por su efecto (2,0 vs 2,5 %). En el ácido butírico, se observó un contenido de 0,4 % en los tratamientos sin inoculación, con respecto al 0,31 % que se obtuvo con inoculación (tabla 2).

Se evidenció que con el uso de inoculantes se favoreció la producción de ácido láctico y hubo

menor producción de ácido acético y butírico, como indicativos de una fermentación adecuada, según los parámetros ideales en el contenido de ácidos para un silo de *Z. mays* (láctico: 4-7 %, acético: 1-3 % y butírico: < 0,5 %) (Weiss *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2018).

La mayor producción de ácido láctico por efecto de la inoculación favoreció directamente la disminución del pH, tal como se informa en otros estudios (Blajman *et al.*, 2018; Rabelo *et al.*, 2018). Este proceso se acompaña también de la disminución de los ácidos acético, butírico y  $\text{NH}_3$  (Chen *et al.*, 2017).

### Conclusiones

Independiente de la época de incorporación y de la leguminosa empleada como abono verde, la

Tabla 2. Caracterización de la fermentación en el silo de *Z. mays*, en función de los factores en estudio.

Tratamiento	pH	$\text{NH}_3$	Láctico	Acético	Butírico
<b>Época</b>					
1	3,8	4,1	7,0	2,2	0,3
2	3,8	4,1	7,0	2,2	0,3
EE $\pm$	0,025	0,059	0,115	0,055	0,004
Valor - P	0,161	0,348	0,750	0,930	0,571
<b>Leguminosa</b>					
0 N	3,8	4,0	6,9	2,2	0,3
50 N	3,8	4,3	7,0	2,2	0,3
<i>C. brasiliensis</i>	3,8	4,0	7,0	2,2	0,34
<i>C. ternatea</i>	3,8	4,1	7,1	2,2	0,3
<i>L. purpureus</i>	3,8	4,1	7,1	2,3	0,3
<i>V. unguiculata</i>	3,8	4,1	7,0	2,2	0,3
EE $\pm$	0,006	0,056	0,136	0,037	0,004
Valor - P	0,704	0,191	0,556	0,938	0,636
<b>Inoculación</b>					
Sin inóculo	4,0	4,4	6,3	2,5	0,4
Con inóculo	3,6	3,8	7,8	2,0	0,3
EE $\pm$	0,012	0,073	0,0131	0,034	0,004
Valor - P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Época x Leguminosa	S	S	NS	NS	NS
Época x inoculación	NS	NS	NS	NS	NS
Leguminosa x inoculación	NS	NS	NS	NS	NS
Época x leguminosa x inoculación	NS	NS	NS	NS	NS

Medias seguidas por letras desiguales en la misma columna difieren para  $p < 0,05$

Época 1: abono verde, sembrado al inicio de lluvias del primer semestre e incorporación al final de las lluvias del mismo.

Época 2: abono verde, sembrado al final de las lluvias del primer semestre e incorporación al final de la época seca.

inoculación de los ensilajes mejoró la calidad nutricional y sus parámetros de fermentación.

Se presentó interacción de los factores época y especie de leguminosa, solo para las variables  $\text{NH}_3$  y pH. A su vez, la inoculación del ensilaje de *Z. maiz* aumentó los contenidos de MS, PB y DIVMS, con disminución de los valores de FDN en el producto final.

### Agradecimientos

Se agradece a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA (antes Corpoica) por la financiación de la investigación.

### Contribución de los autores

- Edwin Castro-Rincón. Realizó la investigación, la redacción del borrador original y el análisis del manuscrito.
- Andrea Milena Sierra-Alarcón. Realizó la investigación y el procesamiento de datos.
- José Edwin Mojica-Rodríguez. Realizó la investigación, la redacción del borrador original y el análisis del manuscrito.
- Juan Evangelista Carulla-Fornaguera. Realizó el diseño de la metodología, la supervisión, la revisión y la edición.
- Carlos Lascano-Aguilar. Desarrolló el diseño de la metodología y creó los modelos.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

### Referencias bibliográficas

- AOAC International. *Official methods of analysis*. Rockville, USA: AOAC International, 2016.
- Blajman, J. E.; Páez, R. B.; Vinderola, C. G.; Lingua, M. S. & Signorini, M. L. A meta-analysis on the effectiveness of homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria for corn silage. *J. Appl. Microbiol.* 125 (6):1655-1669, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14084>.
- Castillo-Jiménez, Marianela; Rojas-Bourrillón, A. & WingChing-Jones, R. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vinya (*Vigna radiata*). *Agron. Costarricense*. 33 (1):133-146. [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v33n01-133.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v33n01-133.pdf), 2009.
- Castro, E.; Sierra, A.; Mojica, J. E.; Carulla, J. E. & Lascano, C. E. Efecto de especies y manejo de abonos verdes de leguminosas en la producción y calidad de un cultivo forrajero utilizado en sistemas ganaderos del trópico seco. *Arch. Zootec.* 66 (253):99-106, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v66i253.2131>.
- Chen, L.; Yuan, X. J.; Li, J. F.; Wang, S. R.; Dong, Z. H. & Shao, T. Effect of lactic acid bacteria and

propionic acid on conservation characteristics, aerobic stability and *in vitro* gas production kinetics and digestibility of whole-crop corn based total mixed ration silage. *J. Integrative Agric.* 16 (7):1592-1600, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61482-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61482-X).

CIAT. Canavalia brasiliensis *Mart. ex Benth* CIAT 17009: forraje que restituye la salud del suelo y mejora la nutrición del ganado. Managua: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Swiss Federal Institute of Technology Zurich. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/2011\\_Canavalia\\_Tropical\\_Forages\\_Program.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2011_Canavalia_Tropical_Forages_Program.pdf), 2011.

Cubero, J. F.; Rojas, A. & WingChing, R. Uso del inóculo microbiano elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agron. Costarricense*. 34 (2):237-250. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v34n2/a09v34n2.pdf>, 2010.

Droppelmann, K. J.; Snapp, S. S. & Waddington, S. R. Opciones de intensificación sostenible para los sistemas agrícolas a base de maíz de pequeños productores en el África subsahariana. *Seguridad Alimentaria*. 9 (1):133-150, 2017.

Ertekin, İ. & Kızıllımşek, M. Effects of lactic acid bacteria inoculation in pre-harvesting period on fermentation and feed quality properties of alfalfa silage. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 33 (2):245-253, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0801>.

Espinoza-Guerra, I.; Montenegro-Vivas, L.; Sánchez-Laiño, A.; Romero-Romero, M.; Medina-Villacís, Marlene & García-Martínez, A. Efecto de inoculantes microbianos sobre la composición bromatológica y estabilidad aeróbica de ensilado de maíz forrajero (*Zea mays*) y cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Revista de Investigación Talentos*. 4 (2):18-22. <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/12/14>, 2017.

Fernandes, Jannine da S.; Ribeiro, M. D. S.; Silva, Rosilene A. da; Santos, A. V. D. dos; Medeiros, C. R. de & Santos, L. C. dos. Composição bromatológica de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cv, "Crioula", cultivada no sertão paraibano sob dois sistemas de plantio em diferentes idades de cortes. *XV Semana de Agronomia*. Brasil: Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2019.

Filya, I. The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages. *J. Dairy Sci.* 86 (11):3575-3581, 2003. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73963-0](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73963-0).

Fischler, M. & Wortmann, C. S. Green manures for maize-bean systems in eastern Uganda. Agronomic performance and farmers' perceptions.

- Agrofor. Syst.* 47 (1):123-138, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006234523163>.
- Forouzmand, M.; Ghorbani, G. & Alikhani, M. Influence of hybrid and maturity on the nutritional value of corn silage for lactating dairy cows. *Pakistan J. Nutr.* 4 (6):435-441, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3923/pjn.2005.435.441>.
- Gallo, A.; Bernardes, T. F.; Copani, G.; Fortunati, Paola; Giuberti, G.; Bruschi, Sara *et al.* Effect of inoculation with *Lactobacillus buchneri* LB1819 and *Lactococcus lactis* O224 on fermentation and mycotoxin production in maize silage compacted at different densities. *Anim. Feed Sci. Technol.* 246:36-45, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.09.009>.
- Gallo, A.; Bertuzzi, T.; Giuberti, G.; Moschini, M.; Bruschi, Sara; Cerioli, Carla *et al.* New assessment based on the use of principal factor analysis to investigate corn silage quality from nutritional traits, fermentation end products and mycotoxins. *J. Sci. Food Agric.* 96 (2):437-448, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7109>.
- Gang, G.; Chen, S.; Qiang, L.; Zhang, S. L.; Tao, S.; Cong, W.; & Huo, W. The effect of lactic acid bacteria inoculums on *in vitro* rumen fermentation, methane production, ruminal cellulolytic bacteria populations and cellulase activities of corn stover silage. *J. Integrative Agric.* 19 (3):838-847, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62707-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62707-3).
- Gómez-Gurrola, A.; Sanginés-García, Leonor; Hernández-Ballesteros, J. A. & Benítez-Meza, J. A. Evaluación química proximal de ensilado de maíz (variedad DK2034) en diferentes tiempos de fermentación. *EDUCATECONCIENCIA.* 7 (8):62-68. <http://tecnocientifica.com.mx/educateconciencia/index.php/revistaeducate/article/view/341/502>, 2015.
- Jankowska, Ewelina; Chwialkowska, Joanna; Stodolny, M. & Oleskiewicz-Popiel, P. Volatile fatty acids production during mixed culture fermentation. The impact of substrate complexity and pH. *Chem. Eng. J.* 326:901-910, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.021>.
- Jiménez, P.; Cortés, H. & Ortiz, S. Rendimiento forrajero y calidad del ensilaje de canavalia en monocultivo y asociada con maíz. *Acta Agron.* 54 (2), 2005.
- Kinyua, M.; Diogo, R. V. C.; Sibomana, J.; Bolo, P. O.; Gbedjissokpa, G.; Mukiri, J. *et al.* Green manure cover crops in Benin and Western Kenya. A review. Nairobi: CIAT. CIAT Publication No. 481. <https://hdl.handle.net/10568/105923>, 2019.
- Kung Jr., L.; Moulder, B. M.; Mulrooney, C. M.; Teller, R. S. & Schmidt, R. J. The effect of silage cutting height on the nutritive value of a normal corn silage hybrid compared with brown midrib corn silage fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 91 (4):1451-1457, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0236>.
- Kung Jr., L.; Shaver, R. D.; Grant, R. J. & Schmidt, R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J. Dairy Sci.* 101 (5):4020-4033, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>.
- La-Guardia-Nave, Renata & Corbin, M. D. Forage warm-season legumes and grasses intercropped with corn as an alternative for corn silage production. *Agronomy.* 8 (10):199, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8100199>.
- Lajús, C. R.; Sebben, C.; Pasqualotto, D. L.; Spode, M. R.; Sabadini, Priscila B.; Dalcanton, F. *et al.* Production and nutritive value of silage corn in different reproductive stages. *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.* 7 (2):130-136, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.72.18>.
- López-Herrera, M. & Briceño-Arguedas, E. Efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos en la calidad física y química de mezclas para ensilaje. *Nutr. Anim. Trop.* 11 (1):52-73, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/nat.v11i1.29605>.
- Mier-Quiroz, Maritza de los A. *Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de micro silos para maíz forrajero.* Tesis de Master. España: Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba, 2009.
- Miranda-Yuquilema, J. E.; Marin-Cárdenas, A.; González-Pérez, M. & Sánchez-Macías, D. Evaluación física, química y microbiológica del ensilaje de yuca con caupí y cultivo microbiano. *Enfoque UTE.* 8 (5):67-75, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n5.181>.
- Mojica-Rodríguez, J. E.; Castro-Rincón, E.; Carulla-Fornaguera, J. E. & Lascano-Aguilar, C. E. Perfil lipídico en leche de vacas en pastoreo de gramíneas en el trópico seco colombiano. *Agron. Mesoam.* 30 (2):497-515, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v30i2.34723>.
- Muck, R. E.; Nadeau, E. M. G.; McAllister, T. A.; Contreras-Govea, F. E.; Santos, M. C & Kung Jr., L. Silage review: recent advances and future uses of silage additives. *J. Dairy Sci.* 101 (5):3980-4000, 2018.
- Peters, J.; Leedke, J. A. & Paulissen, J. B. Factors affecting the *in vitro* production of volatile fatty acids by mixed bacterial populations from the bovine rumen. *J. Anim. Sci.* 67 (6):1593-1602, 1989. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1989.6761593x>.
- Phelan, P.; Moloney, A. P.; McGeough, E. J.; Humphreys, J.; Bertilsson, J.; O'Riordan, E. G. *et al.* Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Crit. Rev. Plant Sci.* 34 (1-3):281-326, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07352689.2014.898455>.

- Rabelo, C. H. S.; Basso, F. C.; Lara, E. C.; Jorge, L. G. O.; Härter, C. J.; Mesquita, L. G. *et al.* Effects of *Lactobacillus buchneri* as a silage inoculant and as a probiotic on feed intake, apparent digestibility and ruminal fermentation and microbiology in wethers fed low-dry-matter whole-crop maize silage. *Grass Forage Sci.* 73 (1):67-77, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12303>.
- Reyes-Gutiérrez, J.; Montañez-Valdez, O.; Guerra-Medina, C. & Ley-De-Coss, A. Efecto de la inclusión de aditivos sobre la calidad del ensilado de caña azúcar. *Rev. MVZ Córdoba.* 23 (2):6710-6717, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.1358>.
- SAS Institute Inc. *SAS/STAT® 9.4 User's Guide*. Cary, USA: SAS Institute Inc., 2013.
- Scotta, Rebeca G. de M.; Filho, G. C. Machado; Carvalho, V. de; Dotto, M. A.; Peluzio, J. M. & Afférrri, F. S. Efeitos de adubação nitrogenada de cobertura em milho consorciado. *RBAS.* 8 (3):73-80, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i3.2995>.
- Silva, L. D.; Pereira, O. G.; Silva, T. C.; Leandro, E. S.; Paula, R. A.; Santos, S. A. *et al.* Effects of *Lactobacillus buchneri* isolated from tropical maize silage on fermentation and aerobic stability of maize and sugarcane silages. *Grass Forage Sci.* 73 (3):660-670, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12360>.
- Skonieski, F. R.; Viégas, J.; Martin, T. N.; Nörnberg, J. L.; Meinerz, G. R.; Tonin, T. J. *et al.* Efecto de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* y las tasas de fertilización con nitrógeno sobre el rendimiento de la planta de maíz ensilado. *Rev. Bras. Zootec.* 46 (9):722-730, 2017.
- Tilley, J. M. A. & Terry, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass Forage Sci.* 18 (2):104-111, 1963. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>.
- Tobia, C & Villalobos, E. Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agron. Costarricense.* 28 (1):17-25. [https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43628102\\_2004](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43628102_2004).
- Vanegas-Ruiz, J. L. & Codero-Ahiman, O. V. Ensilaje como fuente alterna de alimentación del ganado de bovino en la producción lechera. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal.* 3 (2):129-162. <http://www.revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/125>, 2019.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. & Lewis, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74 (10):3583-3597, 1991. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Villa, A. F.; Meléndez, Adelina P.; Carulla, J.E.; Pabón, Martha L & Cárdenas, E. A. Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 23 (1):65-77. <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023458008.pdf>, 2010.
- Weiss, K.; Kroschewski, F. & Auerbach, H. Effects of air exposure, temperature and additives on fermentation characteristics, yeast count, aerobic stability and volatile organic compounds in corn silage. *J. Dairy Sci.* 99:8053-8069, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10323>.