



## Calidad composicional del ensilaje de tres cultivares de maíz (*Zea mays*) del trópico alto colombiano<sup>1</sup>

### Compositional quality of the silage of three cultivars of corn (*Zea mays*) from the Colombian high tropics

Edgar A. Mancipe-Muñoz<sup>2</sup>, Javier Castillo-Sierra<sup>2</sup>, Juan de J. Vargas-Martínez<sup>2</sup>, Yesid Avellaneda-Avellaneda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Recepción: 9 de septiembre, 2021. Aceptación: 23 de noviembre, 2021. Este trabajo formó parte de la agenda de investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.

<sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 vía Bogotá – Mosquera, Colombia. [emancipe@agrosavia.co](mailto:emancipe@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0001-9831-673X>), [jcastillos@agrosavia.co](mailto:jcastillos@agrosavia.co) (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0003-0797-3908>), [jvargasm@agrosavia.co](mailto:jvargasm@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0002-7674-3850>), [yavellaneda@agrosavia.co](mailto:yavellaneda@agrosavia.co) (<https://orcid.org/0000-0003-2471-5863>).

## Resumen

**Introducción.** Elaborar ensilajes de maíz de buena calidad es una estrategia para incrementar la eficiencia de los sistemas de alimentación de rumiantes. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la proporción de mazorcas y el tiempo de sellado sobre la calidad composicional del ensilaje de tres cultivares de maíz en el trópico alto colombiano, cosechados en la fase reproductiva de grano lechoso-pastoso. **Materiales y métodos.** El experimento se realizó en el año 2017, en Mosquera, Colombia, con los cultivares Simijaca, Medellín y Pioneer. *Experimento 1*, se generaron cuatro proporciones diferentes de mazorca en el ensilado. *Experimento 2*, la biomasa se ensiló a las 0, 8 o 16 horas de oreo. Se determinó materia seca (MS), proteína cruda, almidón y fibras en detergente neutro (FDN) y ácida (FDA). Se evaluó la dinámica de descenso del pH. Se determinó el efecto de la proporción de mazorcas y el tiempo de oreo sobre la digestibilidad de la MS, MO y FDN solo en el cultivar Simijaca. La calidad composicional y la dinámica del pH se analizaron mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial, mientras la digestibilidad con un diseño completamente al azar. **Resultados.** El cultivar Medellín presentó menor proporción de mazorca y concentración de almidón (11,9 %) ( $p<0,05$ ) y mayor contenido de FDN (51,7 %) ( $p<0,05$ ). El mayor contenido de mazorca aumentó la concentración de almidón, energía y digestibilidad ( $p<0,05$ ) y disminuyó ( $p<0,05$ ) el valor del pH final (3,69). El oreo aumentó la MS, la FDN, ( $p<0,05$ ) y el valor final y la tasa de descenso del pH, pero no cambió la digestibilidad de la MS, MO y FDN. **Conclusión.** Utilizar ensilaje de maíz con una proporción de mazorca mayor a 66 % y sellar rápido la biomasa de los cultivares Simijaca y Pioneer, mejoró las condiciones de fermentación y calidad composicional.

**Palabras clave:** almidón, biomasa, conservación de forrajes, digestibilidad, energía.

## Abstract

**Introduction.** The elaboration of high-quality corn-silage is a strategy to improve the efficiency of ruminant feeding systems. **Objective.** To evaluate the effect of cob proportion and sealing time on the compositional quality of



silage of three maize cultivars in the Colombian high tropic, harvested in the reproductive phase of milky-pasty grain. **Materials and methods.** The experiment was conducted in 2017 in Mosquera, Colombia, with the cultivars Simijaca, Medellín, and Pioneer. Experiment 1, four different proportions of cob were generated in the silage. Experiment 2, the biomass was ensiled at 0, 8 or 16 hours of wilted. Dry matter (DM), crude protein (CP), starch, and neutral detergent (NDF) and acid detergent (ADF) fibers were determined. The dynamic of pH decrease was evaluated. The effect of cob proportion and wilting time on the DM, OM, and NDF digestibility was determined only in the Simijaca cultivar. Compositional quality and pH dynamics were analyzed using a completely randomized design with a factorial arrangement, while digestibility was analyzed using a completely randomized design. **Results.** The Medellín cultivar showed lower cob proportion and starch concentration (11.9 %) ( $p<0.05$ ) and a higher NDF content (51.7 %) ( $p<0.05$ ). Greater cob content increased starch concentration, energy, and digestibility ( $p<0.05$ ), and reduced ( $p<0.05$ ) the final pH value (3.69). Wilted time increased DM, NDF ( $p<0.05$ ) and final pH value and rate of pH decline, but did not change DM, OM, and NDF digestibility. **Conclusion.** Using corn silage with more than 66% of cob and rapidly sealing the biomass of the Simijaca and Pioneer cultivars improved the fermentation conditions and compositional quality.

**Keywords:** starch, biomass, forage conservation, digestibility, energy.

## Introducción

Generar estrategias para disminuir los costos de producción, aumentar la productividad animal y competitividad es esencial para la ganadería colombiana (Sánchez et al., 2013) y mundial. Además, evaluar y adoptar algunas prácticas, promueve el desarrollo de sistemas sostenibles, mejorara la calidad de vida rural y reduce el impacto ambiental (Makkar, 2016). Al respecto, intensificar de forma sostenible los sistemas productivos, aumenta la eficiencia de los recursos, mantiene o aumenta la producción y disminuye la presión sobre los ecosistemas (Rao et al., 2015).

Los sistemas de producción de leche del trópico alto colombiano que comprende altitudes  $>2000$  m s. n. m., alimentan al ganado a base de pasturas con Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) (Carulla & Ortega, 2016). Sin embargo, la producción de leche y carne presenta un comportamiento estacional, producto de una mayor producción y disponibilidad de biomasa en época de lluvia (Avellaneda Avellaneda et al., 2020). Además, estos sistemas utilizan suplementos según la formulación de la dieta para maximizar el potencial genético de los bovinos, suplir el déficit de forraje y para cumplir con los requerimientos de MS del hato lechero. Lo anterior hace que entre el 37 y 53 % de los costos de producción por litro de leche lo representa el rubro de alimentación (Federación Colombiana de Ganaderos et al., 2013). Por lo cual, para optimizar la calidad y producción de leche y/o carne, es necesario evaluar estrategias de alimentación viables a nivel económico (Castillo et al., 2019).

El ensilaje de maíz es un recurso alimenticio utilizado en la formulación de raciones para vacas lactantes (Marchesini et al., 2017; Peyrat et al., 2016). Por su alta producción de biomasa, perfil nutricional, calidad de fibra y comportamiento durante el proceso de ensilaje (Khan et al., 2015). Producir ensilaje de maíz de calidad con alto rendimiento, minimiza los costos de producción y aumenta la producción de leche (Ferreira & Brown, 2016).

El potencial de producción, relacionado con la máxima producción obtenida por un cultivo en un determinado ambiente, resulta de: i) la combinación de la radiación solar, ii) el tipo de suelo, la temperatura ambiental, iii) el balance hídrico, iv) la densidad de plantas, v) el potencial genético y vi) las restricciones abióticas (Liu et al., 2016). Dentro de los factores internos que afectan el rendimiento y la calidad nutricional de los forrajes y cultivos forrajeros, los más importantes son el cultivar y la edad fisiológica (Elizondo-Salazar, 2017). En Costa Rica, se evaluaron dos cultivares de maíz para la producción de forraje con mazorca. En el estado fenológico de grano lechoso / pastoso para los maíces híbridos, la mayor producción de mazorca ( $1747$  kg ha<sup>-1</sup> de MS) se obtuvo con

la siembra de 58 000 plantas por hectárea; mientras que para maíces criollos (278 kg ha<sup>-1</sup> de MS) se obtuvo con la siembra de 180 000 plantas por hectárea (Elizondo-Salazar & Boschini-Figueroa, 2002).

En Colombia, en el trópico alto los cultivares comerciales de maíz para ensilar o para la producción de mazorca que se siembran son: i) maíz tipo porva, caracterizado por tener granos amarillos, alturas promedio de 2,6 m por planta, periodo vegetativo de nueve meses y se siembra a una densidad de 25 a 30 kg ha<sup>-1</sup> (Moreno Mendoza & Torregroza Castro, 1984); ii) maíz variedad Medellín, presenta granos amarillos, altura promedio de 2,3 m por planta, periodo vegetativo de seis meses, y se siembra a una densidad de 25 a 30 kg ha<sup>-1</sup> (Díaz Amaris & Rivera Gómez, 1980); iii) maíz híbrido forrajero Pioneer p1832, con granos amarillo, altura promedio de 2,16 m y la densidad de siembra es de 60 000 semillas por hectárea (Franco Martínez et al., 2015); sin embargo, es difícil de conseguir en el mercado local.

Algunos ganaderos retiran las mazorcas de la planta de maíz para su comercialización con base en el precio y ensilan el resto de la biomasa, similar a lo reportado por Jiménez et al. (2002). El producto del proceso se conoce como ensilaje de caña de maíz y su composición nutricional se puede observar en la plataforma AlimenTro (s.f.). Además, algunos dejan al ambiente las cañas picadas, previo al empaque, para aumentar la MS y mejorar la fermentación de la biomasa. Sin embargo, el efecto de las anteriores prácticas sobre la calidad nutricional del ensilaje no ha sido documentado. Pero, la proporción de grano en la planta de maíz impacta la calidad nutricional y la producción de ensilaje. También, plantas con mayor tamaño de mazorca resultan en mayor producción de biomasa, porcentaje de MS y concentración de energía (Ferreira & Brown, 2016).

Trabajos que evalúen la cantidad de mazorcas en la biomasa de maíz son escasos; sin embargo, en el trabajo desarrollado por Coors et al. (1996), se evaluaron tres niveles de mazorca (0, 50 y 100) a partir de la polinización de las flores. El contenido de proteína cruda disminuyó en 1 % cuando se incrementó de 0 a 100 % en la concentración de grano. También, en Costa Rica se investigó el efecto de tres diferentes formas de siembra conjunta de maíz y soya, se cosechó el 50 % de las mazorcas al inicio de la floración, el 50 % de las mazorcas en el estado lechoso, y el 50 % sin cosechar las mazorcas. Al remover el 50% de la mazorca se cubrió el 44,23 % de los gastos del cultivo hasta el almacenamiento en silo de montón (Jiménez et al., 2002).

En campo, unos de los objetivos de implementar una buena práctica de ensilaje, es reducir las pérdidas de MS y valor nutricional, garantizar adecuada compactación, sellado y adecuado niveles de carbohidratos solubles. Por lo cual, es esencial alcanzar un rápido estado de marchitez (Borreani et al., 2018). Sin embargo, retrasar el sellado, previo al inicio de la fermentación, causa descenso en los carbohidratos solubles y la MS, lo que disminuye la estabilidad aeróbica una vez el ensilaje empieza a utilizarse (Brüning et al., 2018). Retrasar el sellado tiene efecto sobre la estabilidad aeróbica del ensilaje, asociado al rápido crecimiento de levaduras en la etapa de pre-sellado, ya que al sobrevivir durante el proceso de ensilaje, son capaces de producir etanol y otros alcoholes al cambiar su metabolismo hacia una fermentación anaerobia; estas también se proliferan con rapidez, una vez el ensilaje este expuesto al aire (Pahlow et al., 2003).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la proporción de mazorcas y tiempo de sellado sobre la calidad composicional del ensilaje de tres cultivares de maíz (*Zea mays*) en el trópico alto colombiano, cosechados en estado de grano lechoso-pastoso. La hipótesis experimental fue que la mayor proporción de mazorca y el tiempo de oreo mejoran los parámetros de fermentación y la calidad nutricional del ensilaje de maíz.

## Materiales y métodos

### Localización y establecimiento del cultivo de maíz

El trabajo de evaluación de la calidad composicional del maíz se desarrolló desde marzo a septiembre de 2017, en el Centro de Investigación Tibaitatá, que pertenece a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(AGROSAVIA), ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, Colombia (latitud 4°35'56''N y longitud 74°04'51''O), a una altura de 2570 m s. n. m., con una temperatura media de 16 °C y distribución bimodal de lluvias (Vargas Martínez et al., 2018).

El área experimental se dividió en dos bloques de 120 m<sup>2</sup>. En cada bloque se establecieron los cultivares de maíz comerciales Simijaca tipo porva y Medellín, utilizados para la producción de mazorca y ensilaje, y el maíz híbrido Pioneer P1832, ideal para la producción de forraje. Los cultivares Medellín y Simijaca se sembraron a una distancia entre surcos de 60 cm y entre plantas de 30 cm (5,6 plantas m<sup>2</sup>), mientras que el maíz Pioneer se sembró a una distancia entre surcos de 60 cm y entre plantas de 20 cm (8,3 plantas m<sup>2</sup>), según recomendación de las casas comerciales.

El plan de fertilización se estableció en función de la composición química del suelo (Cuadro 1) y se llevó a cabo en dos momentos del cultivo, de acuerdo con la siguiente descripción: i. Al momento de la siembra: 1000 kg ha<sup>-1</sup> de cal dolomita, 20 kg ha<sup>-1</sup> de urea, 150 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico (DAP), 25 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de magnesio y 10 kg ha<sup>-1</sup> de boro. ii. Al aporque de las plantas: 20 kg ha<sup>-1</sup> de urea, 25 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de magnesio y 10 kg ha<sup>-1</sup> de boro.

**Cuadro 1.** Características químicas del suelo del lote experimental, donde se establecieron tres cultivares de maíz. Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 1.** Chemical characteristics of the soil of the experimental lot, where three cultivars of corn were established. Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| pH                   | MO<br>% | P                   | S    | Fe   | Mn    | Zn   | Cu    | B    | Ca                    | Mg   | K    | Na        | CIC  |
|----------------------|---------|---------------------|------|------|-------|------|-------|------|-----------------------|------|------|-----------|------|
|                      |         | kg ha <sup>-1</sup> |      |      |       |      |       |      | cmol ha <sup>-1</sup> |      |      |           |      |
| 5,96                 | 8,3     | 62                  | 40,4 | 1082 | 6,62  | 36,4 | 2,8   | 0,43 | 15                    | 4,42 | 1,58 | 1,35      | 22,7 |
| Moderada-mente ácido | Medio   | Alto                | Alto | Alto | Medio | Alto | Medio | Alto | Alto                  | Alto | Alto | No salino | Alto |

Alto, medio y no salino: Estimativo conceptual de los nutrientes en el suelo. Según la quinta aproximación de fertilización en diversos cultivos (Instituto Colombiano Agropecuario, 1992). / High, medium, and non-saline: Conceptual estimate of nutrients in the soil, according to the fifth fertilization approximation in various crops (Instituto Colombiano Agropecuario, 1992).

A los 15 días de la siembra se realizó la aplicación de un insecticida que tiene como ingrediente activo clorpirifos a una dosis de 0,5 L ha<sup>-1</sup> para el control de insectos, entre ellos el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*); a los 30 días se fumigó con atrazina a una dosis de 2,5 L ha<sup>-1</sup> para el control de arvenses (plantas de hoja ancha y gramíneas).

### Tratamientos experimentales y elaboración de los silos

Se realizaron dos experimentos con los cultivares comerciales de maíz Simijaca, Medellín y el híbrido Pioneer P1832, los cuales se cosecharon cuando el 80 % de las plantas de cada bloque estaban en el estado fenológico siete o de grano lechoso-pastoso (Hanway, 1963). Las plantas de cada parcela se cosecharon de forma manual a una altura de 15 cm sobre el suelo. Al momento de la cosecha se determinó el rendimiento productivo por planta y por unidad de área, con base en las densidades de siembra mencionadas. Para la elaboración del ensilaje, la biomasa

proveniente de cada parcela (hojas, tallos y mazorca) se cosechó y se pesó en balanza digital (Ohaus, Valor 1000). Luego se picó (Picapastos Penagos PP 300) a un tamaño de longitud de la partícula de 2 cm, se empacó en bolsa negra calibre 6 con capacidad de 5 kg, se compactó de forma manual, se cerró en modo hermético y se almacenó bajo sombra durante veinticinco días. El material ensilado se conservó para el posterior análisis químico.

En el experimento 1 se establecieron proporciones de mazorcas (0, 33,3, 66,7 y 100 %) para cada cultivar, de la siguiente manera: se cosecharon 200, 300 y 400 plantas de los cultivares Simijaca, Medellín y el híbrido Pioneer con la altura promedio para cada cultivar. Se retiraron todas las mazorcas, se apuntó el número de mazorcas por planta (1,9, 1,2 y 2,4 mazorcas por plantas para Simijaca, Medellín y Pioneer, respectivamente) y el peso de cada una de estas (366, 342 y 168 g/mazorca, para Simijaca, Medellín y Pioneer, respectivamente). Luego, se determinó la moda del número de mazorcas por planta para cada cultivar (2, 1 y 3 para Simijaca, Medellín y Pioneer, respectivamente), con el peso promedio de las mazorcas, se estableció la relación del 100 % para cada cultivar (por ejemplo, 80 mazorcas y 40 plantas (sin mazorcas) para el cultivar Simijaca) y luego las otras relaciones (por ejemplo, para el cultivar Simijaca, 53 mazorcas y 40 plantas para un 66 % de mazorcas y 26 mazorcas y 40 plantas, para un 33 %). El material vegetal se picó, homogenizó y ensiló inmediatamente.

En el experimento 2 se definieron tres manejos diferentes de la biomasa de acuerdo con el tiempo de oreo. Para esto, la biomasa de cada combinación bloque cultivar se dividió en tres fracciones, una se ensiló inmediatamente y las otras dos se sometieron a 8 o 16 h de oreo antes del empaque. Durante el oreo las condiciones ambientales (respecto a precipitación, brillo solar, temperatura y humedad relativa) para el híbrido Pioneer fueron de: 35,8 mm, 5,4 h luz/día, 13,2 °C y 81 %, respectivamente y para los cultivares Medellín y Simijaca fueron de: 75 mm, 4,1 horas luz/día, 13,5 °C y 84 %, respectivamente. En este ensayo no se retiraron mazorcas de las plantas.

## Variables evaluadas

### *Composición química y nutricional*

Se tomaron muestras del forraje picado previo al empaque y de los ensilajes al día 25 de iniciado el proceso fermentativo, para determinar la materia seca (MS), proteína cruda (PC), proteína cruda soluble (PCS), almidón (Horwitz & Latimer, 2005), fibra en detergente neutro y ácido (FDN y FDA) (Van Soest & Robertson, 1980) y energía bruta (EB) (Horwitz & Latimer, 2005). Además, se estimó la energía neta de lactancia ( $EN_L$ ) de los ensilajes de acuerdo con la ecuación propuesta por Adams (1994). Para cuantificar la digestibilidad de la MS, de materia orgánica (MO) y de la FDN del ensilaje, solo se utilizó material vegetal del cultivar Simijaca (Horwitz & Latimer, 2005) y FDN.

### *Dinámica de descenso del pH*

El día 0, en la biomasa fresca y los días 2, 4, 7, 14 y 25 del periodo de fermentación en una bolsa de cada bloque (dos en total), correspondiente a cada combinación experimental (cultivar por proporción de mazorcas o tiempo de oreo, a través de un muestreo destructivo), se midió el pH del material conservado con un pH-metro portátil (Hanna HI1230B). Una muestra ensilada de 25 días de fermentación de los tres maíces se envió al laboratorio para determinar la concentración de ácido láctico a través de cromatografía de gases. La información obtenida se ajustó al modelo broken line cuadrático que se describe a continuación:

$$pH = A + k \times ((P - \text{día})^2) \times I, \text{ si día} > P, I = 0,$$

En donde A representa el valor final de pH, k la tasa instantánea de descenso en el pH y P el momento al cual el pH se estabiliza.

### Análisis estadístico

*Experimento 1:* la calidad composicional y los parámetros de la dinámica del pH fueron analizados a través de un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 3x4, con los tres cultivares y las cuatro proporciones de mazorca en la biomasa. El efecto de la proporción de mazorca en el ensilaje de maíz del cultivar Simijaca sobre la digestibilidad de los componentes químicos se analizó a través de un diseño de bloques completos al azar.

*Experimento 2:* la calidad composicional y los parámetros de la dinámica del pH fueron analizadas a través de un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 3x3, con los tres cultivares y los tres tiempos de oreo previos al empaque. El efecto del tiempo de oreo del ensilaje de maíz del cultivar Simijaca sobre la digestibilidad de los componentes químicos se analizó con un diseño completamente al azar.

Los análisis fueron realizados a través del procedimiento GLM de SAS 9.4 (Statistical Analysis Systems, 2016). Los efectos principales se evaluaron por medio de una prueba de Tukey y la interacción por medio de una prueba de medias ajustadas, con un nivel de significancia del 5 %. El modelo broken line cuadrático fue evaluado con el procedimiento NLIN de GLM de SAS 9.4 (Statistical Analysis Systems, 2016). La digestibilidad de los componentes químicos del ensilaje de maíz del cultivar Simijaca se analizó a través del procedimiento GLM de SAS 9.4 (Statistical Analysis Systems, 2016). Las varianzas del error experimental de las variables evaluadas cumplieron los supuestos de homogeneidad y homocedasticidad.

## Resultados

### Rendimiento productivo y características químicas de la biomasa fresca de maíz

El híbrido de maíz Pioneer presentó mayor ( $p<0,05$ ) precocidad y menor ( $p<0,05$ ) peso de las plantas y producción de forraje verde por planta que los cultivares Simijaca y Medellín. Además, el híbrido Pioneer tuvo una mayor ( $p<0,05$ ) relación mazorca:forraje verde respecto a los demás cultivares evaluados (Cuadro 2). El peso de las plantas y de las mazorcas, así como la producción de biomasa verde y seca, fue mayor ( $p<0,05$ ) en el cultivar Simijaca. En este sentido, el cultivar Simijaca presentó 22,3 y 26,5 % mayor ( $p<0,05$ ) producción de MS por unidad de área respecto a la producción observada para Pioneer y Medellín en un ciclo productivo, respectivamente (Cuadro 2).

En el experimento 1, el cultivar Medellín presentó una menor concentración de MS, almidón y  $EN_L$  en el forraje fresco de maíz, comparado con los otros cultivares evaluados ( $p<0,05$ ). En cambio, el cultivar Simijaca registró menor porcentaje de proteína cruda ( $p<0,05$ ) (Cuadro 3). El aumento en la proporción de mazorca tuvo un incremento ( $p<0,05$ ) de forma lineal sobre la MS, el almidón y la  $EN_L$ , mientras que redujo ( $p<0,05$ ) linealmente la concentración de PC, PCS, FDN y FDA (Cuadro 3).

En el experimento 2, el cultivar Medellín presentó la menor concentración de MS, almidón y  $EN_L$  ( $p<0,05$ ), y el mayor contenido de PCS, FDN y FDA, comparado con los otros dos maíces evaluados ( $p<0,05$ ). El cultivar Simijaca mostró la menor concentración de PC ( $p<0,05$ ), mientras que el maíz Pioneer registró la mayor concentración de MS y almidón ( $p<0,05$ ) (Cuadro 4). A mayor tiempo de oreo se presentó una reducción lineal de PC, PCS, almidón y  $EN_L$  ( $p<0,05$ ), mientras se aumentó la concentración de FDN y FDA ( $p<0,05$ ) (Cuadro 4).

**Cuadro 2.** Rendimiento productivo y proporción de forraje fresco y mazorca de tres cultivares de maíz cosechados en estado fenológico lechoso-pastoso en el trópico alto colombiano. Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 2.** Productive yield and proportion of fresh forage and cob of three corn cultivars harvested in a milky-pasty phenological state in Colombian high tropics. Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Cultivar de maíz | Edad             | Peso planta            | Forraje verde (FV) | Mazorca (M)      | M/FV              | Producción FV     | Producción MS      |
|------------------|------------------|------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                  | d                | g planta <sup>-1</sup> |                    |                  |                   |                   | t ha <sup>-1</sup> |
| Pioneer          | 150 <sup>a</sup> | 859 <sup>c</sup>       | 450 <sup>b</sup>   | 404 <sup>b</sup> | 0,89 <sup>a</sup> | 70,9 <sup>b</sup> | 15,2 <sup>b</sup>  |
| Simijaca         | 168 <sup>b</sup> | 1788 <sup>a</sup>      | 1082 <sup>a</sup>  | 695 <sup>a</sup> | 0,64 <sup>b</sup> | 99,5 <sup>a</sup> | 18,6 <sup>a</sup>  |
| Medellín         | 180 <sup>c</sup> | 1366 <sup>b</sup>      | 942 <sup>a</sup>   | 410 <sup>b</sup> | 0,43 <sup>c</sup> | 75,8 <sup>b</sup> | 14,7 <sup>b</sup>  |
| EEM              | 1,72             | 7,4                    | 45,7               | 17,2             | 0,009             | 2,8               | 0,5                |

EEM: error estándar de la media. / EEM: Standard error of the mean.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01. / <sup>a,b,c</sup> Different letters in the same column represent significant differences; \*: p<0.05; \*\*: p<0.01.

**Cuadro 3.** Composición química del forraje fresco de tres cultivares de maíz cosechados en estado lechoso-pastoso con diferente proporción de mazorca (Experimento 1). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 3.** Chemical composition of the fresh forage of three corn cultivars harvested in a milky-pasty phenological state with different proportion of cob (Experiment 1). Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Ítem                     | MS                 | PC                | PCS  | FDN  | FDA                | Almidón            | EN <sub>L</sub>       |
|--------------------------|--------------------|-------------------|------|------|--------------------|--------------------|-----------------------|
|                          | %                  |                   |      |      |                    |                    | Mcal kg <sup>-1</sup> |
| Maíz (Ma)                |                    |                   |      |      |                    |                    |                       |
| Pioneer                  | 25,5 <sup>a</sup>  | 9,9 <sup>a</sup>  | 40,7 | 43,8 | 24,5 <sup>b</sup>  | 18,5 <sup>a</sup>  | 1,63 <sup>a</sup>     |
| Simijaca                 | 22,7 <sup>a</sup>  | 8,1 <sup>b</sup>  | 41,2 | 46,1 | 24,9 <sup>b</sup>  | 16,4 <sup>a</sup>  | 1,62 <sup>a</sup>     |
| Medellín                 | 18,3 <sup>b</sup>  | 9,4 <sup>a</sup>  | 42,0 | 51,7 | 30,7 <sup>a</sup>  | 11,9 <sup>b</sup>  | 1,46 <sup>b</sup>     |
| EEM                      | 1,01               | 0,31              | 2,10 | 2,18 | 1,18               | 0,79               | 0,03                  |
| Mazorcas (M; %)          |                    |                   |      |      |                    |                    |                       |
| 0                        | 18,2 <sup>b</sup>  | 10,6 <sup>a</sup> | 43,9 | 49,3 | 30,7 <sup>a</sup>  | 9,8 <sup>c</sup>   | 1,46 <sup>b</sup>     |
| 33,3                     | 21,8 <sup>ab</sup> | 9,6 <sup>ab</sup> | 43,9 | 48,5 | 28,9 <sup>ab</sup> | 15,1 <sup>bc</sup> | 1,51 <sup>ab</sup>    |
| 66,7                     | 22,5 <sup>ab</sup> | 8,5 <sup>bc</sup> | 39,6 | 46,1 | 24,9 <sup>b</sup>  | 16,9 <sup>ab</sup> | 1,62 <sup>a</sup>     |
| 100                      | 24,9 <sup>a</sup>  | 7,9 <sup>c</sup>  | 37,8 | 44,9 | 23,3 <sup>b</sup>  | 20,6 <sup>a</sup>  | 1,66 <sup>a</sup>     |
| EEM                      | 1,16               | 0,36              | 2,42 | 2,52 | 1,36               | 0,91               | 0,05                  |
| <b>Efecto</b>            |                    |                   |      |      |                    |                    |                       |
| Ma                       | *                  | *                 | ns   | +    | *                  | **                 | ***                   |
| M                        | *                  | **                | ns   | ns   | *                  | ***                | *                     |
| MaxM                     | ns                 | ns                | ns   | ns   | ns                 | ns                 | ns                    |
| Tipo efecto <sup>1</sup> | L                  | L                 | L    | L    | L                  | L                  | L                     |

MS: materia seca, PC: proteína cruda, PCS: proteína cruda soluble, FDN: fibra en detergente neutro, FDA: fibra en detergente ácida, EN<sub>L</sub>: energía neta de lactancia. / MS: dry matter, PC: crude protein, PCS: soluble crude protein, FDN: neutral detergent fiber, FDA: acid detergent fiber, EN<sub>L</sub>: Net energy lactation.

EEM: error estándar de la media. / EEM: standard error of the mean.

<sup>1</sup> Efecto de la proporción de mazorca, L: lineal. / <sup>1</sup> Effect of the cob proportion, L: lineal.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas. ns: no significativo; +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001. / <sup>a,b,c</sup> Different letters in the same column represent significant differences. ns: not significant; +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001.

**Cuadro 4.** Composición química del forraje fresco de tres cultivares de maíz cosechados en estado fenológico lechoso-pastoso con diferente tiempo de oreo (Experimento 2). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 4.** Chemical composition of the fresh forage of three corn cultivars harvested in a milky-pasty phenological state with different airing time (Experiment 2). Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Ítem                        | MS                | PC               | PCS                | FDN               | FDA               | Almidón           | EN <sub>L</sub>       |
|-----------------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
|                             |                   |                  |                    |                   |                   |                   | Mcal kg <sup>-1</sup> |
| %                           |                   |                  |                    |                   |                   |                   |                       |
| Maíz (Ma)                   |                   |                  |                    |                   |                   |                   |                       |
| Pioneer                     | 28,1 <sup>a</sup> | 9,3 <sup>a</sup> | 45,7 <sup>a</sup>  | 43,0 <sup>a</sup> | 28,6 <sup>b</sup> | 20,4 <sup>a</sup> | 1,52 <sup>a</sup>     |
| Simijaca                    | 25,8 <sup>b</sup> | 8,7 <sup>b</sup> | 42,8 <sup>ab</sup> | 48,0 <sup>b</sup> | 27,2 <sup>b</sup> | 16,7 <sup>b</sup> | 1,56 <sup>a</sup>     |
| Medellín                    | 21,9 <sup>c</sup> | 9,4 <sup>a</sup> | 40,7 <sup>b</sup>  | 51,7 <sup>c</sup> | 32,3 <sup>a</sup> | 12,6 <sup>c</sup> | 1,41 <sup>b</sup>     |
| EEM                         | 2,01              | 0,11             | 0,85               | 1,32              | 0,44              | 0,79              | 0,012                 |
| Oreo (O; h)                 |                   |                  |                    |                   |                   |                   |                       |
| 0                           | 24,0              | 9,7 <sup>a</sup> | 46,7 <sup>a</sup>  | 45,0 <sup>b</sup> | 26,5 <sup>a</sup> | 18,1              | 1,58 <sup>a</sup>     |
| 8                           | 26,0              | 9,0 <sup>b</sup> | 43,9 <sup>a</sup>  | 46,1 <sup>b</sup> | 27,6 <sup>a</sup> | 16,2              | 1,55 <sup>a</sup>     |
| 16                          | 25,9              | 8,7 <sup>b</sup> | 38,7 <sup>b</sup>  | 51,9 <sup>a</sup> | 30,8 <sup>b</sup> | 15,4              | 1,46 <sup>b</sup>     |
| EEM                         | 2,33              | 0,13             | 0,98               | 1,52              | 0,51              | 0,91              | 0,014                 |
| <b>Efecto</b>               |                   |                  |                    |                   |                   |                   |                       |
| Ma                          | **                | *                | ns                 | *                 | **                | **                | **                    |
| O                           | +                 | **               | **                 | *                 | **                | ns                | **                    |
| MaxO                        | ns                | ns               | ns                 | ns                | ns                | ns                | ns                    |
| Tipo de efecto <sup>1</sup> | ns                | L                | L                  | L                 | L                 | L                 | L                     |

MS: materia seca, PC: proteína cruda, PCS: proteína cruda soluble, FDN: fibra en detergente neutro, FDA: fibra en detergente ácida, EN<sub>L</sub>: energía neta de lactancia. / MS: dry matter, PC: crude protein, PCS: soluble crude protein, FDN: neutral detergent fiber, FDA: acid detergent fiber, EN<sub>L</sub>: net energy lactation.

EEM: error estándar de la media. / <sup>1</sup>EEM: standard error of the mean.

<sup>1</sup> Efecto del tiempo de oreo, L: lineal, ns: no significativo. / <sup>1</sup> Effect of airing time, L: lineal, ns: not significant.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas. +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01. / <sup>a,b,c</sup> Different letters in the same column represent significant differences. +: p<0.1; \*: p<0.05; \*\*: p<0.01.

### Efecto del cultivar y la proporción de mazorcas sobre la calidad del ensilaje de maíz

No se observaron efectos asociados a la interacción entre el cultivar de maíz y la proporción de mazorcas (Cuadro 5). El ensilaje de maíz del cultivar Medellín presentó la menor concentración de MS, PCS, almidón y EN<sub>L</sub> (p<0,05) y el mayor porcentaje de FDN, comparado con los otros maíces. Con el aumento en la proporción de mazorcas se observó un incremento lineal en el contenido de MS, PCS, almidón y EN<sub>L</sub> en el ensilaje y una reducción lineal en la concentración de FDN y FDA. La composición química del forraje fresco y ensilado presentó una correlación positiva (R: 0,69; 0,52; 0,55 y 0,77 para MS, PC, FDN y almidón, respectivamente, p<0,05), excepto en la concentración de PCS, la cual se redujo en el material fresco al aumentar la proporción de mazorca, pero aumentó en el material ensilado (Cuadro 3 y 5).



**Cuadro 5.** Composición química del ensilaje de tres cultivares de maíz con diferente proporción de mazorca (Experimento 1). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 5.** Chemical composition of the silage of three corns cultivars with different proportion of cob (Experiment 1). Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Ítem                        | MS                 | PC   | PCS               | FDN               | FDA               | Almidón            | EN <sub>L</sub>       |
|-----------------------------|--------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
|                             |                    |      |                   |                   |                   |                    | Mcal kg <sup>-1</sup> |
| %                           |                    |      |                   |                   |                   |                    |                       |
| Maíz (Ma)                   |                    |      |                   |                   |                   |                    |                       |
| Pioneer                     | 24,6 <sup>a</sup>  | 9,5  | 43,5 <sup>a</sup> | 48,9 <sup>a</sup> | 29,2 <sup>a</sup> | 17,8 <sup>a</sup>  | 1,50 <sup>a</sup>     |
| Simijaca                    | 23,5 <sup>a</sup>  | 8,9  | 43,4 <sup>a</sup> | 52,2 <sup>b</sup> | 29,4 <sup>a</sup> | 15,5 <sup>a</sup>  | 1,50 <sup>a</sup>     |
| Medellín                    | 18,7 <sup>b</sup>  | 9,6  | 37,6 <sup>b</sup> | 57,4 <sup>c</sup> | 32,5 <sup>b</sup> | 11,2 <sup>b</sup>  | 1,41 <sup>b</sup>     |
| EEM                         | 0,52               | 0,25 | 0,72              | 0,55              | 0,49              | 0,89               | 0,01                  |
| Mazorcas (M; %)             |                    |      |                   |                   |                   |                    |                       |
| 0                           | 17,9 <sup>c</sup>  | 9,8  | 37,8 <sup>b</sup> | 56,7 <sup>b</sup> | 32,5 <sup>b</sup> | 11,5 <sup>c</sup>  | 1,40 <sup>b</sup>     |
| 33,3                        | 21,4 <sup>b</sup>  | 9,2  | 40,1 <sup>b</sup> | 54,4 <sup>b</sup> | 31,5 <sup>b</sup> | 12,7 <sup>bc</sup> | 1,44 <sup>b</sup>     |
| 66,7                        | 23,8 <sup>ab</sup> | 9,3  | 44,0 <sup>a</sup> | 51,0 <sup>a</sup> | 29,1 <sup>a</sup> | 16,9 <sup>ab</sup> | 1,51 <sup>a</sup>     |
| 100                         | 25,9 <sup>a</sup>  | 8,9  | 43,9 <sup>a</sup> | 49,1 <sup>a</sup> | 18,0 <sup>a</sup> | 18,2 <sup>a</sup>  | 1,53 <sup>a</sup>     |
| EEM <sup>2</sup>            | 0,60               | 0,29 | 0,83              | 0,63              | 0,57              | 1,03               | 0,02                  |
| <b>Efecto</b>               |                    |      |                   |                   |                   |                    |                       |
| Ma                          | ***                | ns   | ***               | ***               | **                | **                 | **                    |
| M                           | ***                | ns   | ***               | ***               | **                | **                 | **                    |
| MaxM                        | ns                 | ns   | ns                | ns                | ns                | ns                 | ns                    |
| Tipo de efecto <sup>1</sup> | L                  | ns   | L                 | L                 | L                 | L                  | L                     |

MS: materia seca, PC: proteína cruda, PCS: proteína cruda soluble, FDN: fibra en detergente neutro, FDA: fibra en detergente ácida, ENL: energía neta de lactancia. / MS: Dry matter, PC: crude protein, PCS: soluble crude protein, FDN: neutral detergent fiber, FDA: acid detergent fiber, ENL: net Energy lactation.

EEM: error estándar de la media. / EEM: standard error of the mean.

<sup>1</sup> Efecto de la proporción de mazorca, L: lineal, ns: no significativo. / <sup>1</sup> Effect of the cob proportion, L: lineal, ns: not significant.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas. \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001. / <sup>a,b,c</sup> Different letters in the same column represent significant differences. \*\*: p<0.01; \*\*\*: p<0.001.

La digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica del ensilaje de maíz del cultivar Simijaca tuvo un incremento lineal con el aumento en la proporción de mazorcas y fue menor en la biomasa sin mazorcas, comparado con las otras tres proporciones (p<0,05) (Cuadro 6). El ensilaje de maíz con 100 % de mazorcas registró una menor digestibilidad de la FDN, comparado con las otras proporciones evaluadas.

El maíz híbrido Pioneer presentó mayor pH final y tasa de descenso (p<0,05), pero menor delta de pH (p<0,05) y demoró 1,87 días menos para estabilizar la fermentación respecto al cultivar Medellín (Cuadro 7). Además, la concentración de ácido láctico fue dos veces mayor en el ensilaje de maíz de los cultivares Simijaca y Medellín, comparado con el híbrido Pioneer (p<0,05). El aumento en la proporción de mazorcas generó una mayor dinámica fermentativa, aumentó la tasa de descenso del pH y la concentración de ácido láctico (p<0,05), y redujo el pH final y el tiempo requerido para la estabilización del pH (p<0,05).

**Cuadro 6.** Digestibilidad del ensilaje de maíz, cultivar Simijaca, con diferente proporción de mazorca (Experimento 1). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 6.** Digestibility of corn silage, Simijaca cultivars, with different proportion of cob (Experiment 1). Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Ítem                        | D <sub>MS</sub>   | D <sub>MO</sub>   | D <sub>FDN</sub>  |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                             | %                 |                   |                   |
| Mazorcas (M; %)             |                   |                   |                   |
| 0                           | 48,9 <sup>b</sup> | 57,0 <sup>b</sup> | 61,4 <sup>a</sup> |
| 33,3                        | 55,7 <sup>a</sup> | 67,5 <sup>a</sup> | 58,0 <sup>a</sup> |
| 66,7                        | 58,0 <sup>a</sup> | 68,8 <sup>a</sup> | 56,7 <sup>a</sup> |
| 100                         | 58,3 <sup>a</sup> | 69,0 <sup>a</sup> | 47,8 <sup>b</sup> |
| EEM                         | 1,27              | 2,12              | 1,54              |
| <b>Efecto</b>               |                   | p<                |                   |
| M                           | *                 | *                 | **                |
| Tipo de efecto <sup>1</sup> | L                 | L                 | L                 |

D<sub>MS</sub>: digestibilidad de la materia seca, D<sub>MO</sub>: digestibilidad de la materia orgánica, D<sub>FDN</sub>: digestibilidad de la fibra en detergente neutro. / D<sub>MS</sub>: dry matter digestibility, D<sub>MO</sub>: organic matter digestibility, D<sub>FDN</sub>: digestibility of fiber in neutral detergent  
EEM: error estándar de la media. / EEM: standard error of the mean.

<sup>1</sup> Efecto de la proporción de mazorca, L: lineal. / <sup>1</sup> Effect of the cob proportion, L: lineal.

<sup>ab</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas. \*: p<0,05; \*\*: p<0,01. / <sup>ab</sup> Different letters in the same column represent significant differences. \*: p<0,05; \*\*: p<0,01.

### Efecto del cultivar y el tiempo de oreo sobre la calidad del ensilaje de maíz

Igual a lo observado en el primer estudio, no se observaron efectos significativos en la interacción entre el cultivar y la duración del oreo (p>0,05) (excepto para el periodo de estabilización del pH). El ensilaje de maíz del cultivar Medellín registró menor concentración de MS y almidón y mayor porcentaje de fibras (p<0,05) (FDN y FDA), comparado con los otros maíces (Cuadro 8). Además, el ensilaje del híbrido Pioneer presentó mayor contenido de MS, almidón y EN<sub>L</sub>, mientras que el cultivar Simijaca tuvo menor porcentaje de PC. El tiempo de oreo afectó todas las variables de composición química del ensilaje de maíz de forma lineal. En ese sentido, el mayor tiempo de oreo incrementó las concentraciones MS, PC, FDN y FDA (p<0,05), y disminuyó las concentraciones de PCS, almidón y EN<sub>L</sub>, evidenciándose un mayor efecto a las 16 h de oreo (Cuadro 8).

El tiempo de oreo no afectó la digestibilidad de los macrocomponentes del ensilaje de maíz del cultivar Simijaca (Cuadro 9), sin embargo, se observó una tendencia a aumentar la digestibilidad de la FDN con el tiempo de oreo (p<0,1).

La dinámica del pH en el ensilaje de maíz Pioneer fue diferente a la observada para los otros dos cultivares (Cuadro 10); ya que el primero registró un mayor valor de pH final y tasa de descenso (p<0,05) y menor porcentaje

**Cuadro 7.** Dinámica de descenso del pH de ensilaje de tres cultivares de maíz con diferente proporción de mazorca (Experimento 1). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 7.** Dynamics of decrease in the pH silage of three corn cultivars with different proportion of cob (Experiment 1). Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Ítem                        | $\Delta\text{pH}$  | $\text{pH}_f$     | k                   | P                  | Ácido láctico     |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
|                             |                    |                   | %/d                 | d                  | %                 |
| Maíz (Ma)                   |                    |                   |                     |                    |                   |
| Pioneer                     | 1,88 <sup>b</sup>  | 3,95 <sup>a</sup> | 0,162 <sup>a</sup>  | 3,22 <sup>b</sup>  | 2,42 <sup>b</sup> |
| Simijaca                    | 2,24 <sup>ab</sup> | 3,66 <sup>b</sup> | 0,123 <sup>ab</sup> | 4,55 <sup>a</sup>  | 4,71 <sup>a</sup> |
| Medellín                    | 2,32 <sup>a</sup>  | 3,60 <sup>c</sup> | 0,089 <sup>b</sup>  | 5,09 <sup>a</sup>  | 5,14 <sup>a</sup> |
| EEM                         | 0,106              | 0,007             | 0,015               | 0,176              | 0,405             |
| Mazorcas (M; %)             |                    |                   |                     |                    |                   |
| 0                           | 2,37               | 3,80 <sup>c</sup> | 0,093               | 4,74 <sup>b</sup>  | 2,96              |
| 33.3                        | 2,19               | 3,79 <sup>b</sup> | 0,111               | 4,56 <sup>b</sup>  | 4,16              |
| 66.7                        | 2,08               | 3,71 <sup>a</sup> | 0,133               | 4,18 <sup>ab</sup> | 4,11              |
| 100                         | 1,95               | 3,69 <sup>a</sup> | 0,160               | 3,68 <sup>a</sup>  | 5,14              |
| EEM                         | 0,123              | 0,009             | 0,017               | 0,203              | 0,467             |
| <b>Efecto</b>               |                    |                   | p<                  |                    |                   |
| Ma                          | *                  | ***               | *                   | ***                | ***               |
| M                           | ns                 | ***               | +                   | *                  | ns                |
| MaxM                        | ns                 | +                 | ns                  | ns                 | ns                |
| Tipo de efecto <sup>1</sup> | ns                 | L                 | L                   | L                  | L                 |

<sup>1</sup>  $\Delta\text{pH}$ : diferencia de pH, pH<sub>f</sub>: pH final, k: tasa instantánea de descenso del pH; P: periodo para estabilizar el pH. /  $\Delta\text{pH}$ : pH difference, pH<sub>f</sub>: final pH; k: instantaneous rate of pH decline; P: period to stabilize the pH.

EEM: error estándar de la media. / EEM: Standard error of the mean.

<sup>1</sup> Efecto de la proporción de mazorca, L: lineal, ns: no significativo. / <sup>1</sup> Effect of the cob proportion L: Lineal, ns: not significant.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas. +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*\*: p<0,001. / <sup>a,b,c</sup> Different letters in the same column represent significant differences. +: p<0.1; \*: p<0.05; \*\*\*: p<0.001.

de ácido láctico (p<0,05). Además, el tiempo de oreo afectó de forma lineal el valor de pH final y la tasa de descenso del pH, fue mayor en el ensilaje sometido a mayor tiempo de oreo, comparado con el material que no fue oreado (p<0,05). El cultivar y el tiempo de oreo modificaron el tiempo de estabilización del pH del silo. El maíz híbrido Pioneer no presentó diferencias entre los tiempos de oreo (p>0,05), el cultivar Simijaca solo entre las 0 y 16 horas (3,84 vs 3,40 d, respectivamente), mientras que el cultivar Medellín presentó diferencias en todos los tiempos de oreo (4,29, 3,75 y 3,11 d, para 0, 8 y 16 horas, respectivamente; Cuadro 10).

**Cuadro 8.** Composición química del ensilaje de tres cultivares de maíz con diferente tiempo de oreo previo al empaque (Experimento 2). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

Table 8. Chemical composition of three corn cultivars silage with different airing times before packing (Experiment 2). Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Ítem                        | MS                | PC               | PCS                | FDN               | FDA               | Almidón           | EN <sub>L</sub>   |
|-----------------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                             |                   |                  |                    |                   |                   |                   |                   |
| Maíz (Ma)                   |                   |                  |                    |                   |                   |                   |                   |
| Pioneer                     | 28,1 <sup>a</sup> | 9,3 <sup>a</sup> | 45,7 <sup>a</sup>  | 45,6 <sup>a</sup> | 30,6 <sup>a</sup> | 18,4 <sup>a</sup> | 1,46 <sup>a</sup> |
| Simijaca                    | 25,8 <sup>b</sup> | 8,6 <sup>b</sup> | 42,8 <sup>ab</sup> | 50,9 <sup>b</sup> | 33,2 <sup>b</sup> | 14,7 <sup>b</sup> | 1,39 <sup>b</sup> |
| Medellín                    | 21,9 <sup>c</sup> | 9,3 <sup>a</sup> | 40,7 <sup>b</sup>  | 54,7 <sup>c</sup> | 34,3 <sup>b</sup> | 10,6 <sup>c</sup> | 1,36 <sup>b</sup> |
| EEM                         | 0,59              | 0,13             | 0,76               | 0,74              | 0,52              | 0,91              | 0,014             |
| Oreo (O; h)                 |                   |                  |                    |                   |                   |                   |                   |
| 0                           | 24,0 <sup>b</sup> | 8,7 <sup>b</sup> | 46,7 <sup>a</sup>  | 45,0 <sup>b</sup> | 30,9 <sup>b</sup> | 16,1              | 1,45 <sup>a</sup> |
| 8                           | 25,9 <sup>a</sup> | 8,9 <sup>b</sup> | 43,9 <sup>a</sup>  | 46,1 <sup>b</sup> | 32,0 <sup>b</sup> | 14,2              | 1,42 <sup>a</sup> |
| 16                          | 26,0 <sup>a</sup> | 9,7 <sup>a</sup> | 38,7 <sup>b</sup>  | 51,1 <sup>a</sup> | 35,2 <sup>a</sup> | 13,4              | 1,33 <sup>b</sup> |
| EEM                         | 0,59              | 0,13             | 0,76               | 0,74              | 0,52              | 0,92              | 0,014             |
| <b>Efecto</b>               | <b>p&lt;</b>      |                  |                    |                   |                   |                   |                   |
| Ma                          | ***               | **               | **                 | ***               | **                | **                | **                |
| O                           | *                 | **               | ***                | **                | **                | ns                | **                |
| MaxO                        | ns                | +                | ns                 | ns                | +                 | ns                | +                 |
| Tipo de efecto <sup>1</sup> | L                 | L                | L                  | L                 | L                 | L                 | L                 |

MS: materia seca, PC: proteína cruda, PCS: proteína cruda soluble, FDN: fibra en detergente neutro, FDA: fibra en detergente ácida, EN<sub>L</sub>: energía neta de lactancia. / MS: dry matter, PC: crude protein, PCS: soluble crude protein, FDN: neutral detergent fiber, FDA: acid detergent fiber, EN<sub>L</sub>: net energy lactation.

EEM: error estándar de la media. / EEM: standard error of the mean.

<sup>1</sup> Efecto del tiempo de oreo, L: lineal. / <sup>1</sup> Effect of airtime, L: lineal.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas. ns: no significativo, +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001. / <sup>a,b,c</sup> Different letters in the same column represent significant differences. ns: not significant, +: p<0,1; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001.

## Discusión

En el presente estudio la concentración de la MS, el almidón y la pared celular presentaron un comportamiento diferente entre el maíz híbrido Pioneer y el cultivar Simijaca en los dos experimentos desarrollados, fue similar la composición en el experimento 1 pero diferente en el experimento 2. Esto indica que el maíz Pioneer se deshidrató más rápido respecto al maíz Simijaca, debido a que el primero está diseñado para ensilar, lo que incrementó la concentración de MS y almidón. Además, el maíz Pioneer presentó la mayor proporción de mazorca: forraje verde y fue más precoz, respecto a los otros dos cultivares. Las plantas del cultivar Medellín se caracterizaron por tener una baja relación mazorca: forraje verde, lo que incidió que el contenido de FDN fuera mayor, mientras que el contenido de almidón y energía fue bajo respecto a los otros cultivares evaluadas.

Además, es importante considerar que el presente estudio se realizó en condiciones de trópico alto y que la producción y calidad de las variedades evaluadas puede variar en otras regiones de Colombia debido a factores ambientales y la densidad de siembra utilizada. Sin embargo, los resultados presentados en este estudio sirven

**Cuadro 9.** Digestibilidad del ensilaje de tres cultivares de maíz con diferente tiempo de oreo previo al empaque (Experimento 2). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 9.** Digestibility of the silage of three corn cultivars with different airing times before packing (Experiment 2). Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Ítem                        | D <sub>MS</sub> | D <sub>MO</sub><br>% | D <sub>FDN</sub> |
|-----------------------------|-----------------|----------------------|------------------|
| <b>Oreo (O; h)</b>          |                 |                      |                  |
| 0                           | 54,6            | 50,9                 | 42,3             |
| 8                           | 55,0            | 62,4                 | 46,3             |
| 16                          | 53,5            | 61,6                 | 53,1             |
| EEM                         | 1,13            | 5,14                 | 3,75             |
| <b>Efecto</b>               |                 | p<                   |                  |
| O                           | ns              | ns                   | ns               |
| Tipo de efecto <sup>1</sup> | ns              | ns                   | L                |

D<sub>MS</sub>: digestibilidad de la materia seca, D<sub>MO</sub>: digestibilidad de la materia orgánica, D<sub>FDN</sub>: digestibilidad de la fibra en detergente neutro. / D<sub>MS</sub>: digestibility of dry matter. D<sub>MO</sub>: digestibility of organic matter, D<sub>FDN</sub>: digestibility of fiber in neutral detergent.

EEM: error estándar de la media. / EEM: Standard error of the mean.

<sup>1</sup> Efecto de la proporción de mazorca, L: lineal. / <sup>1</sup> Effect of the cob proportion, L: lineal.

**Cuadro 10.** Dinámica de descenso del pH de ensilaje de tres cultivares de maíz con diferente proporción de mazorca (Experimento 2). Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

**Table 10.** Dynamics of the pH decrease in three corn cultivars silage with different proportion of cob (Experiment 2). Tibaitatá Research Center, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA). Mosquera, Cundinamarca, Colombia. 2017.

| Ítem                        | ΔpH  | pH <sub>f</sub>    | k<br>%/d            | P<br>d | Ácido láctico<br>% |
|-----------------------------|------|--------------------|---------------------|--------|--------------------|
| <b>Maíz (Ma)</b>            |      |                    |                     |        |                    |
| Pioneer                     | 2,44 | 3,91 <sup>a</sup>  | 0,249 <sup>a</sup>  | 2,93   | 2,09 <sup>b</sup>  |
| Simijaca                    | 2,30 | 3,70 <sup>b</sup>  | 0,182 <sup>b</sup>  | 3,62   | 5,22 <sup>a</sup>  |
| Medellín                    | 2,49 | 3,70 <sup>b</sup>  | 0,176 <sup>b</sup>  | 3,72   | 5,03 <sup>a</sup>  |
| EEM                         | 0,09 | 0,019              | 0,0099              | 0,06   | 0,35               |
| <b>Oreo (O; %)</b>          |      |                    |                     |        |                    |
| 0                           | 2,51 | 3,73 <sup>a</sup>  | 0,184 <sup>b</sup>  | 3,73   | 4,68               |
| 8                           | 2,49 | 3,77 <sup>ab</sup> | 0,197 <sup>ab</sup> | 3,45   | 3,98               |
| 16                          | 2,23 | 3,81 <sup>b</sup>  | 0,227 <sup>a</sup>  | 3,09   | 3,67               |
| EEM                         | 0,09 | 0,019              | 0,0099              | 0,06   | 0,35               |
| <b>Efecto</b>               |      |                    |                     |        |                    |
| Ma                          | ns   | ***                | **                  | ***    | **                 |
| O                           | ns   | *                  | *                   | **     | ns                 |
| MaxO                        | ns   | ns                 | ns                  | *      | ns                 |
| Tipo de efecto <sup>1</sup> | L    | L                  | L                   | L      | L                  |

ΔpH: diferencia de pH, pH<sub>f</sub>: pH final, k: tasa instantánea de descenso del pH; P: periodo para estabilizar el pH. / ΔpH: pH difference, pH<sub>f</sub>: final pH; k: instantaneous rate of pH decline; P: period to stabilize the pH.

EEM: error estándar de la media. / EEM: standard error of the mean.

<sup>1</sup> Efecto del tiempo de oreo, L: lineal. / <sup>1</sup> Effect of airing time, L: lineal.

<sup>a,b</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas. ns: no significativo, \*: p<0,05; \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001. / <sup>a,b</sup> Different letters in the same column represent significant differences. ns: non significant, \*: p<0.05; \*\*: p<0.01; \*\*\*: p<0.001.

como base para futuros trabajos de ensilajes de maíz en el trópico alto colombiano. También, es importante recordar que el estado fenológico en el que se cosechó el maíz para el presente estudio fue cuando las mazorcas presentaron grano lechoso a pastoso y que los rendimientos y la calidad nutricional pueden variar o es afectada por el cultivar sembrado y el estado fenológico en el que se realiza la cosecha del maíz. Estos resultados corroboran la producción limitada de MS de cultivares de maíz en el trópico alto andino que describe Villa et al. (2010). Además, se evidencian bajas producciones de MS, comparado con otros países como Ecuador (21,4 t ha<sup>-1</sup>), Nueva Zelanda (17,5 t ha<sup>-1</sup>) y Suecia (18,3 t ha<sup>-1</sup>) en temperaturas por debajo de 10 °C (Cañadas et al., 2016; Millner et al., 2005; Mussadiq et al., 2012). Lo anterior evidencia la necesidad de desarrollar cultivares o híbridos que presenten una mayor productividad en las condiciones, con base en el tiempo de cosecha (da Silva et al., 2015).

Los valores de FDN encontrados para los cultivares de maíz evaluados en este trabajo, variaron desde 45,6 % para Pioneer hasta 57,4 % para Medellín, los cuales fueron similares a los reportados por Mussadiq et al. (2012), quienes obtuvieron valores que fueron de 38,4 a 55,9 %, pero fueron inferiores a los descritos por Ruiz et al. (2006) para siete diferentes híbridos comerciales de maíz (60,6 a 68,0 %) cosechados a 1/3 de la línea de leche, lo que puede indicar la mejor calidad composicional de los germoplasmas usados en trópico alto, debido a que los ensilajes producidos en climas con temperaturas bajas y con un lento desarrollo fisiológico del cultivo, disminuyen la concentración de la pared celular (Adesogan, 2010). El maíz del cultivar Simijaca registró valores bajos de digestibilidad de la MS (promedio 55,2 y 54,4 %, en los experimentos 1 y 2, respectivamente), comparado con lo reportado por Ruiz et al. (2006) (entre 60,4 y 69,4 %). Además, la digestibilidad de la MO en el experimento 1 y 2 (promedio 65,6 y 58,3 %) se comportó similar al trabajo descrito por Ruiz et al. (2006) (61,3 a 69,6 %), lo anterior indica que el contenido de cenizas y su digestibilidad, son factores importantes a tener en cuenta en la comparación de diferentes materiales forrajeros.

El cultivar Simijaca presentó los menores valores de PC a diferente tiempo de oreo y proporción de mazorca, respecto a los maíces Pioneer y Medellín, pero la concentración de proteína entre cultivares es un componente que tiene un rango de variación estrecho, como lo muestran los resultados de este estudio, en donde el valor de PC varió entre 8,6 y 9,6 %. También, en el trabajo de Mussadiq et al. (2012), varió entre 7,4 y 9,3, en el estudio de Ruiz et al. (2006), entre 7,2 y 9,4 y en el estudio de Lasmar de Oliveira et al. (2017), de 6,1 a 9,7 en cultivares comerciales usadas en Brasil. Esto ratifica el hecho de que la variable con mayor intensidad de selección de un cultivar está dada por rendimiento productivo del cultivo, asociado a la eficiencia de uso del nitrógeno (Mueller et al., 2019).

Los valores de digestibilidad de la materia seca del cultivar Simijaca fueron similares a los reportados por Peyrat et al. (2016), quienes evaluaron dos híbridos de maíz, denominados Flint (tardío) y Flint-dent (precoz), cosechados en dos estados de maduración, con concentraciones de FDN de 39,2 y 34,7 %, respectivamente. Estos autores reportaron que la digestibilidad de la FDN no fue afectada por el tipo de material vegetal (47,3 y 44,6 %, para Flint y Flint-dent, respectivamente).

Al avanzar la madurez del cultivo de maíz, incrementa el contenido de grano, lo que incrementa la concentración de almidón y reduce la concentración de FDN (Johnson et al., 1999); en este sentido, al variar el número de granos en las mazorcas, se observó que un incremento en esta variable generó una reducción en la FDN del material fresco sin afectar la concentración de PC (Dalla Valle et al., 2008). En el presente trabajo, se observó la misma tendencia, la cual indica que independiente del cultivar de maíz y dado que al avanzar la madurez del cultivo de maíz se incrementa el contenido de grano, aumenta la concentración de almidón y reduce la concentración de FDN (Johnson et al., 1999); además, el cambio en la proporción de grano afecta la concentración de carbohidratos (a mayor proporción de grano mayor concentración de carbohidratos no estructurales y menor proporción de FDN), pero no el de componentes nitrogenados.

En este trabajo la PC, FDN, y la D coinciden con el trabajo realizado por Coors et al. (1996), los cuales describen que el contenido de PC, y FDN disminuye linealmente cuando pasa de 0 a 100% de mazorca. En contraste, la digestibilidad aumenta con mayor proporción de mazorca. En el presente estudio, la digestibilidad de

la materia seca fue afectada positivamente cuando el ensilaje se elaboró con una concentración alta de mazorcas, debido a que la concentración de FDN fue menor y se presentó mayor concentración de almidón (con mejor digestibilidad) (Ruiz et al., 2006; Sejrsen et al., 2006). La menor digestibilidad del FDN para el tratamiento 100 % de mazorcas (menor concentración de FDN), coincidió con el reporte del estudio elaborado por Bal et al. (2000), en donde un cultivar bajo en FDN, registró menor digestibilidad de este componente, asociado a la concentración de componentes menos fermentables como la lignina. Además, la mayor concentración de almidón resulta en una mayor fermentación y acumulación de ácidos grasos volátiles, lo que afecta las bacterias celulíticas y disminuye la degradación de la fibra (Nagaraja & Titgemeyert, 2007).

La falta de grano en la biomasa vegetal ensilada puede aumentar la capacidad buffer y es necesario más sustrato para disminuir el pH (Dalla Valle et al., 2008), resultado que coincide con el efecto lineal observado para la proporción de mazorcas en el ensilaje. Sin embargo, el alto contenido de humedad (74-76 %) del maíz en el presente estudio, no fue limitante para una adecuada fermentación, puesto que los valores de pH encontrados en el presente estudio (3,69-3,80) para las diferentes proporciones de mazorca, fueron menores a los considerados de referencia para maíces con mayor contenido de MS, 3,70 a 4,00; para maíces entre 30 y 40 % de MS (Kung Jr. et al., 2018).

En el presente trabajo la biomasa sin mazorcas presentó una menor digestibilidad de la MS, asociado a una mayor concentración de pared celular y menor contenido de almidón; sin embargo, Dalla Valle et al. (2008) reportaron que el cambio en la proporción de grano en las mazorcas no afectó la digestibilidad de la MS en el ensilaje. El acondicionamiento y la dispersión del forraje después del corte, tiene un gran efecto sobre la tasa de secado del forraje (Wilkinson et al., 2003). La exposición aeróbica previa al sellado incrementa la concentración de MS, asociado a evaporación de humedad, sin embargo, un retraso en el sellado puede incrementar la concentración de componentes volátiles orgánicos (Brüning et al., 2018), moléculas que se han relacionado con una disminución en el consumo de ensilaje por bovinos (Gerlach et al., 2013). La reducción de la humedad por marchitez resulta en el incremento en las concentraciones de cenizas, proteína y fibra cruda (Honig, 1990), que no fue reportado en este estudio en el material vegetal previo al empaque, pero si en el forraje ensilado. Además, el contenido de almidón en el presente estudio no fue afectado por el tiempo de oreo, resultado que coincide con el encontrado por Brüning et al. (2018) y Tabbacco et al. (2011).

Cortos periodos de exposición al aire no causan efectos adversos sobre la calidad del ensilaje y pueden reducir la pérdida de MS y la proteólisis (Adogla-Bessa et al., 1999), lo cual se demuestra con una menor concentración de N amoniacal y ácidos grasos isobutírico e isovalérico, productos de la degradación de valina y leucina. Además, el retraso de 3 h antes de sellar las bolsas de ensilaje de maíz no causó un efecto deletéreo en el material vegetal, a pesar de la reducción en las concentraciones de ácidos grasos volátiles (Kim & Adesogan, 2006). Esta respuesta es concordante con los resultados encontrados en el presente estudio, ya que con el incremento en el tiempo de oreo se aumentó significativamente el contenido de MS y el contenido de proteína cruda total. Por otra parte, en el trabajo de Brüning et al. (2018), el contenido de NNP disminuyó luego de dos días de exposición al ambiente, resultado similar a la tendencia observada para la fracción de proteína soluble en este trabajo, en el material previo al empaque y en el maíz ensilado. Los cambios en la fracción soluble ocurren por los procesos térmicos y se relacionan con un incremento en el N ligado al FDN y FDA (Brüning et al., 2018).

En el trabajo desarrollado por Weiss et al. (2016), el retraso de 16 h en el empaque del forraje de maíz generó una reducción en la cantidad de lactato y un aumento en la presencia de acetato de etilo en el ensilaje, similar a la tendencia lineal registrada en el actual experimento para la producción de ácido láctico (Cuadro 10), lo que indica que la reducción en el contenido de humedad afecta la fermentación del ensilaje

En este estudio se encontró que el retraso en el sellado incrementó el pH del ensilaje, similar a lo reportado por Mills & Kung (2002), quienes evaluaron una exposición de 24 h previa al empaque en ensilaje de maíz. Además, el oreo de 8 o 16 h generó un incremento en la concentración de MS, lo que indica que la proliferación de levaduras no

fue exitosa para generar pérdidas de este componente, como lo reportaron otros autores, en términos de MS (Weiß et al., 2020) o materia orgánica (Nutcher et al., 2015) asociado la producción de excesiva de etanol y metilesteres de ácido láctico y acético por el crecimiento de las levaduras.

## Conclusiones

Del ensilaje de maíz elaborado para el presente estudio, bajo condiciones de trópico de altura en Colombia en función del cultivar, la concentración de mazorca y el tiempo de oreo, las plantas de maíz del cultivar Medellín presentaron una baja proporción de mazorcas y el mayor contenido de FDN y menor concentración de almidón en comparación con los cultivares Simijaca y Pioneer.

El oreo previo al sellado causó un efecto positivo sobre la MS, pero negativo sobre la concentración de almidón y  $EN_L$  del material vegetal previo al empaque y fue más notorio en el maíz Pioneer.

El mayor contenido de mazorca en la biomasa vegetal mejoró la fermentación del ensilaje al reducir el valor del pH final y el tiempo de estabilización, además, mejoró la calidad nutricional del ensilaje de maíz en cuanto a su composición química y digestibilidad de MS y MO.

El oreo del material vegetal aumentó el valor final y la tasa de descenso del pH, pero no alteró la digestibilidad de la MS, MO y FDN; sin embargo, resultó en el incremento de la MS y la FDN, lo que generó un menor valor de energía disponible.

Se sugiere validar los resultados de este estudio en condiciones de campo para generar recomendaciones sobre el ensilaje de maíz que mejoren la productividad de los sistemas de producción bovina del trópico alto.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación del estudio.

## Referencias

- Adams, R. S. (1994). Regression equations for estimating energy values of various feeds. In V. Ishler (Ed.), *From feed to milk: Understanding rumen function* (Extension circular No. 422, pp. 14–27). Pennsylvania State University.
- Adesogan, A. T. (2010). Corn silage quality in tropical climates. In O. G. Pereira, D. M. da Fonseca, J. A. Obeid, D. do Nascimento (Eds.), *Proceedings 5th Symposium on strategic management of pasture* (pp. 311–327). Universidade Federal de Viçosa.
- Adogla-Bessa, T., Owen, E., & Adesogan, A. T. (1999). Ensiling of whole crop wheat with cellulase-hemicellulase based enzymes: 3. Comparing effects of urea or enzyme treatment on forage composition and stability. *Anim. Feed Science and Technology*, 82(1–2), 51–61. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00100-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00100-5)
- AlimenTro. (s.f.). *Composición química y valor nutricional* [Ficha Técnica]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://alimentro.agrosavia.co/Home/Index?ReturnUrl=%2f>
- Avellaneda Avellaneda, Y., Mancipe Muñoz, E. A., & Vargas Martínez, J. J. (2020). Efecto de la edad de rebrote sobre el desarrollo morfológico y composición química del pasto Kikuyo en el trópico alto colombiano. *CES Medicina veterinaria y Zootecnia*, 15(2), 23–37. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.2>



- Bal, M. A., Shaver, R. D., Shinnars, K. J., Coors, J. G., Lauer, J. G., Straub, R. J., & Koegel, R. G. (2000). Stage of maturity, processing, and hybrid effects on ruminal *in situ* disappearance of whole-plant corn silage. *Animal Feed Science and Technology*, 86(1–2), 83–94. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00163-2)
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952–3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- Brüning, D., Gerlach, K., Weiß, K., & Südekum, K. -H. (2018). Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on maize silage quality and on formation of volatile organic compounds. *Grass Forage Science*, 73(1), 53–66. <https://doi.org/10.1111/gfs.12288>
- Cañadas, A., Molina, C., Rade, D., & Fernández, F. (2016). Interacción época/densidad de siembra sobre la producción de ocho híbridos de maíz forrajeros, Ecuador. *Revista de MVZ de la Universidad de Córdoba*, 21(1), 5112–5123. <https://doi.org/10.21897/rmvz.22>
- Carulla, J. E., & Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83–87.
- Castillo, J., Benavides, J., Vargas, J., Avellaneda, Y., & García, G. (2019). Applied research on dairy cattle feeding systems in Colombian high tropics. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(2), 108–122. <https://doi.org/10.22267/rcia.193602.122>
- Coors, J. G., Albrecht, K. A., & Bures, E. J. (1996). Ear-fill effects on yield and quality of silage corns. *Crop Science*, 37(1), 243–247. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700010043x>
- da Silva, M. S. J., Cabreira Jobim, C., Poppi, E. C., Tres, T. T., & Puntel Osmari, M. (2015). Production technology and quality of corn silage for feeding dairy cattle in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(9), 303–313. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000900001>
- Dalla Valle, D. E., Andrade, F. H., Viviani, E., & Wade, M. H. (2008). The effect of kernel number on growth, yield and quality of forage maize. *Revista Argentina de Producción Animal*, 28(2), 87–97.
- Díaz Amaris, C., & Rivera Gómez J. A. (1980). *ICA V. 402 primera variedad de maíz montaña amarillo para las zonas frías moderadas colombianas* [Plegable de divulgación No. 153]. Repositorio de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/20526?show=full>
- Elizondo-Salazar, J. A., & Boschini-Figueroa, C. (2002). Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana*, 13(1), 13–17. <https://doi.org/10.15517/am.v13i1.13227>
- Elizondo-Salazar, J. A. (2017). Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 329–340. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23418>
- Federación Colombiana de Ganaderos, Fondo Nacional del Ganado, & Servicio Nacional de Aprendizaje. (2013). *Costos modales en ganadería de leche Trópico alto de Colombia: Ventana a la competitividad ganadera*. DOC PLAYER. <https://bit.ly/3McreyR>
- Ferreira, G., & Brown, A. N. (2016). Environmental factors affecting corn quality for silage. In T. Da Silva, & E. M. Santos (Eds.), *Advances in silage production and utilization* (pp. 39–51). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/64381>
- Franco Martínez, J. R. P., González Huerta, A., Pérez López, D. J., & González Ronquillo, M. (2015). Caracterización fenotípica de híbridos y cultivares de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1915–1927.

- Gerlach, K., Roß, F. H., Weiß, K., Buscher, W., & Sudekum, K. H. (2013). Changes in maize silage fermentation products during aerobic deterioration and its impact on feed intake by goats. *Agricultural and Food Science*, 22(1), 168–181. <https://doi.org/10.23986/afsci.6739>
- Hanway, J. J. (1963). How a corn plant develops? *Agronomy Journal*, 55(5), 487–492. <https://doi.org/10.2134/agronj1963.00021962005500050024x>
- Honig, H. (1990). Evaluation of aerobic stability. In S. Lindgren, & K. Lunden Pattersson (Eds.), *Proceedings of the Eurobac stability* (pp. 76–82). Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Horwitz, W., & Latimer, G. W. (2005). *Official methods analysis of AOAC International* (18<sup>th</sup> Ed.). AOAC International.
- Instituto Colombiano Agropecuario. (1992). *Fertilización en diversos cultivos* (5<sup>a</sup> aproximación, Manual de Asistencia Técnica No. 25). Editorial Produmedios.
- Jiménez, C., Pineda, L., León, B., & Montenegro, A. (2002). Producción de maíz y soya forrajera para ensilaje y venta parcial de la cosecha de elotes o chilotes. *Agronomía Mesoamericana*, 13(1), 45–48. <https://doi.org/10.15517/am.v13i1.13245>
- Johnson, L., Harrison, J. H., Hunt, C., Shinnors, K., Doggett, C. G., & Sapienza, D. (1999). Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. *Journal of Dairy Science*, 82(12), 2813–2825. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75540-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75540-2)
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., & Hendriks, W. H. (2015). Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of Science and Food Agriculture*, 95(2), 238–252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703>
- Kim, S. C., & Adesogan, A. T. (2006). Influence of ensiling temperature, simulated rainfall, and delayed sealing on fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 89(8), 3122–3132. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72586-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72586-3)
- Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Lasmar de Oliveira, I., Miranda Lima, L., Rume Casagrande, D., Stefanelli Lara, M. A., & Fernandes Bernardes, T. (2017). Nutritive value of corn silage from intensive dairy farms in Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(6), 494–501. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017000600004>
- Liu, Z., Yang, X., Lin, X., Hubbard, K. G., & Wang, J. (2016). Narrowing the agronomic yield gaps of maize by improved soil, cultivar, and agricultural management practices in different climate zones of Northeast China. *Earth Interactions*, 20(12), 1–18. <https://doi.org/10.1175/EI-D-15-0032.1>
- Makkar, H. P. S. (2016). Smart livestock feeding strategies for harvesting triple gain – the desired outcomes in planet, people and profit dimensions: a developing country perspective. *Animal Production Science*, 56(3), 519–534. <https://doi.org/10.1071/AN15557>
- Marchesini, G., Serva, L., Garbin, E., Mirisola, M., & Andrighetto, I. (2017). Near-infrared calibration transfer for undried whole maize plant between laboratory and onsite spectrometers. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1), 66–72. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1345660>
- Millner, J. P., Villaver, R., & Hardacre, A. K. (2005). The yield and nutritive value of maize hybrids growth for silage. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48, 101–108. <https://doi.org/10.1080/00288233.2005.9513637>

- Mills, J. A., & Kung, L. (2002). The effect of delayed ensiling and application of a propionic acid-based additive on the fermentation of barley silage. *Journal of Dairy Science*, 85(8), 1969–1975. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74273-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74273-2)
- Moreno Mendoza, J. D., & Torregroza Castro, M. A. (1984). *ICA V 508 variedad mejorada de maíz tipo sogamoseño para clima frío* [Brochure]. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Mueller, S. M., Messina, C. D., & Vyn, T. J. (2019). Simultaneous gains in grain yield and nitrogen efficiency over 70 years of maize genetic improvement. *Scientific Reports*, 9(1), Article 9095. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45485-5>
- Mussadiq, Z., Hetta, M., Swensson, C., & Gustavsson, A. (2012). Plant development, agronomic performance and nutritive value of forage maize depending on hybrid and marginal site conditions at high latitudes. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science*, 62(5), 420–430. <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.639795>
- Nagaraja, T. G., & Titgemeyer, E. (2007). Ruminant acidosis in beef cattle: The current microbiological and nutritional outlook. *Journal of Dairy Science*, 90(Suppl. 1), E17–38. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-478>
- Nutcher, K., Salacci, R., Kuber, C. P., Kuber, R., Uriarte, M. E., & Bolsen, K. K. (2015, July 1-3). *Effects of sealing time post-filling and sealing material on fermentation, nutritional quality, and organic matter loss of whole-plant maize ensiled in a drive-over pile* [Conference presentation]. Seventeenth International Silage Conference, Piracicaba, São Paulo, Brazil. <http://static.atkft.hu/Dokumentumok/Proceedings2015.pdf>
- Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., Oude, E. S., & Spoelstra, S.F. (2003). Microbiology of ensiling. In L. Al-Amoodi, K. A. Barbarick, J. J. Volenc, W. A. Dick, D. R. Buxton, R. E. Muck, & J. H. Harrison (Eds.), *Silage science and technology* (pp. 31-93). American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc., & Soil Science Society of America Inc. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronmonogr42>
- Peyrat, J., Baumont, R., Le Morvan, A., & Nozière, P. (2016). Effect of maturity and hybrid on ruminal and intestinal digestion of corn silage in dry cows. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 258–268. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9466>
- Rao, I., Peters, M., Castro, A., Schultze-Kraft, R., White, D., Fisher, M., Miles, J., Lascano, C., Blümmel, M., Bungestab, D., Tapasco, J., Hyman, G., Bolliger, A., Paul, D., Van der Hoek, R., Maass, B., Tiemann, T., Cuchillo, M., Douchamps, S., ... Rudel, T. (2015). LivestockPlus - The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystems services in the tropics. *Tropical Grasslands*, 3(2), 59–82. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(3\)59-82](https://doi.org/10.17138/TGFT(3)59-82)
- Ruiz, O., Beltrán, R., Salvador, F., Rubio, H., Grado, A., & Castillo, Y. (2006). Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(1), 91-96.
- Sánchez, L., Londoño, C. E., Benavides, J. C., Castillo, J., & Torres, D. R. (2013). *Recuperación de suelos y renovación de praderas en sistemas de producción de leche especializada del trópico alto*. Produmedios.
- Sejrsen, K., Hvelpund, T., & Nielsen, M. O. (Eds.). (2006). *Ruminant physiology: Digestion and passage of fibre in ruminants*. Wageningen Press.
- Statistical Analysis Systems. (2016). *User's guide Version 9.4*. SAS Institute Inc.
- Tabbacco, E., Righi, F., Quarantelli, A., & Borreani, G. (2011). Dry matter and nutritional losses during aerobic deterioration of corn and sorghum silages as influenced by different lactic acid bacteria inocula. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1409-1419. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3538>

- Van Soest, P.J., & Robertson, J.B. (1980). Systems of analysis for evaluating fibrous feeds. In W. J. Pigden, C. C. Balch, & M. Graham (Eds.), *Standardization of analytical methodology in feeds* (pp. 49–60). International Development Research Centre.
- Vargas Martínez, J. J., Sierra Alarcón, A. M., Mancipe Muñoz, E. A., & Avellaneda Avellaneda, Y. (2018). El Kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 137–156. <https://doi.org/10.21615/4558>
- Villa, A. F., Meléndez, A. P., Carulla, J. E., Pabón, M. L., & Cárdenas, E. A. (2010). Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(1), 65–77.
- Weiß, K., Kroschewski, B., & Auerbach, H. (2020). Formation of volatile organic compounds during the fermentation of maize as affected by sealing time and silage additive use. *Archives of Animal Nutrition*, 74(2), 150–163. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2019.1694357>
- Weiss, K., Kroschewski, B., & Auerbach, H. (2016). Effects of air exposure, temperature and additives on fermentation characteristics, yeast count, aerobic stability and volatile organic compounds in corn silage. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 8053–8069. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10323>
- Wilkinson, J. M., Bolsen, K. K., & Lin, C. J. (2003). History of silage. In L. Al.-Amoodi, K. A. Barbarick, J. J. Volenec, W. A. Dick, D. R. Buxton, R. E. Muck, & J. H. Harrison (Eds.), *Silage science and technology* (pp. 1–30). American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc., & Soil Science Society of America Inc. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronmonogr42>