

Influencia del estadio de madurez en la calidad nutricional y el costo de producción del silaje de maíz en San Pedro de Ycuamandyyú, Paraguay

Influence of maturity stage on nutritional quality and production cost of corn silage in San Pedro de Ycuamandyyú, Paraguay

Guido Arnaldo Portillo^{1*}, Ricardo Diosnel Ramírez Sosa¹, Alexis Ferreira González¹, Luis Alberto Alonzo Griffith² y Jorge Daniel Caballero Mascheroni²

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Animal. San Pedro, Paraguay.

² Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

*Autor para correspondencia:

guido.portillo@agr.una.py

Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores:

Conceptualización: G.A.P., R.D.R.S. y A.F.G.; Metodología: G.A.P., R.D.R.S., A.F.G.; Experimentación: G.A.P. y R.D.R.S.; Análisis de datos: L.A.A.G. y J.D.C.M.; Redacción del borrador original: R.D.R.S.; Revisión y edición del manuscrito: G.A.P. y A.F.G.; Todos los autores asumen la responsabilidad del contenido del manuscrito.

Financiamiento:

Ninguno

Disponibilidad de datos

Los datos presentados en este estudio están disponibles previa solicitud al autor de correspondencia. El conjunto de datos no está públicamente disponible dada su confidencialidad.

Historial:

Recibido: 22-04-2025;
Aceptado: 06-06-2025;
Publicado: 30-06-2025

Editor responsable:

Arnaldo Esquivel-Fariña 
Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

Licencia:

Artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la composición bromatológica y el costo de producción del ensilaje de maíz (*Zea mays* L.) cosechado en diferentes estadios de madurez. La investigación se realizó en el distrito de San Pedro de Ycuamandyyú, entre enero y julio de 2023. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos correspondientes a distintos estadios de madurez del cultivo al momento de la cosecha y ensilado (T1= ¼ de línea de leche (LL), T2= ½ LL, T3= ¾ LL), con cinco repeticiones cada uno. Cada repetición consistió en un microsilaje de polietileno con capacidad de 70 kg. Los datos fueron sometidos a ANAVA por el test de Fisher ($\alpha = 0,05$) y las medias con diferencias significativas fueron comparadas por el test de Tuckey ($\alpha = 0,05$). El tratamiento con ¾ LL presentó valores superiores de MS (31,10%), NDT (70,55%), CNF (37,63%) y DIVMS (69,33%), y excelente contenido de PB (7,67%). Asimismo, este tratamiento registró menores niveles de FDN (44,92%), FDA (25,12%), LIG (1,69%) y PIDA (6,16% PB), además del menor costo de producción por kilogramo de MV (329 Gs) y de MS (1.059 Gs). Conforme a estos resultados, se recomienda cosechar y ensilar cuando el cultivo de maíz alcance el estadio de ¾ LL para optimizar el valor nutritivo y el costo de producción.

Palabras claves: *Zea mays* L., forraje conservado, calidad nutricional, costo.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the bromatological composition and production cost of corn silage (*Zea mays* L.) harvested at different maturity stages. The research was conducted in the district of San Pedro de Ycuamandyyú between January and July 2023. A completely randomized design was used with three treatments corresponding to different maturity stages of the crop at harvest and ensiling (T1 = ¼ milk line (ML), T2 = ½ ML, T3 = ¾ ML), with five replications each. Each replication consisted of a polyethylene microsilage with a capacity of 70 kg. Data were subjected to ANOVA using Fisher's test ($\alpha = 0,05$), and means with significant differences were compared using Tukey's test ($\alpha = 0,05$). The ¾ ML treatment showed superior values for DM (31,10%), TDN (70,55%), NFC (37,63%), and IVDMD (69,33%), and excellent CP content (7,67%). Likewise, this treatment recorded lower levels of NDF (44,92%), ADF (25,12%), LIG (1,69%), and ADIN (6,16% CP), in addition to the lowest production cost per kilogram of FM (329 Gs) and DM (1.059 Gs). Based on these results, it is recommended to harvest and ensile when the corn crop reaches the ¾ ML stage to optimize nutritional value and production cost.

Keywords: *Zea mays* L., conserved forage, nutritional quality, cost.

INTRODUCCIÓN

La conservación de forrajes es clave para enfrentar la escasez de forrajes en sistemas ganaderos durante periodos críticos, además de permitir aumentar la carga animal en los potreros y mejorar la productividad. Entre las técnicas disponibles, el ensilaje destaca como la más eficaz, al preservar el valor nutricional del forraje y mejorar su digestibilidad (Macedo, Neto, Silva y Santos, 2019; Motta et al., 2020; Kung et al., 2018).

Dentro de las especies utilizadas para este fin, el maíz planta entera se destaca por su alta producción de biomasa, valor energético y facilidad de uso en raciones mixtas (Jiang et al., 2022), sumado a un perfil fermentativo favorable gracias a su alto contenido de carbohidratos solubles, baja capacidad tampón y flora epífita equilibrada (Grolli Carvalho, Martin, Santos, Müller y Piran Filho, 2016; Neumann, Poczynek, Leão, Figueira, y Souza, 2018).

Un factor determinante en la calidad del silaje de maíz es el estadio de madurez de la planta al momento de la cosecha, ya que influye directamente en el rendimiento forrajero, así como en los procesos bioquímicos durante el almacenamiento, afectando tanto su calidad fermentativa como nutricional (Nazli, Halim, Abdullah, Hussin y Samsudin, 2019).

En relación con esto, cosechar en estadios inmaduros, cuando la planta presenta alta humedad, suele provocar mayores pérdidas de nutrientes por efluentes. En cambio, la cosecha en etapas demasiado avanzadas reduce la digestibilidad del almidón y la fibra, lo que puede afectar negativamente el consumo voluntario de los animales (Liu et al., 2023; Nazli et al., 2019).

A diferencia de otros forrajes, el valor nutricional del maíz no disminuye linealmente con la madurez, debido a la dilución de la fibra presente en hojas y tallos por el desarrollo de los granos (Souza et al., 2022; Silva-Filho et al., 2022). Sin embargo, persisten discrepancias sobre el momento óptimo de cosecha.

Diversos autores han propuesto criterios distintos para definir este punto óptimo. Por ejemplo, Weirich Neto, Garbuio, Souza, Delalibera y Leitão (2013) recomiendan cosechar cuando la planta alcanza entre 30 y 35% de materia seca. Otros, como Vilela et al. (2008), Souza et al. (2019) y Souza et al. (2022), sugieren que el momento ideal ocurre cuando la línea de leche alcanza la mitad del grano ($\frac{1}{2}$ LL), mientras que Marafon et al. (2015) y Nazli et al. (2019) amplían este rango entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de LL.

Además de la calidad nutricional, otro aspecto esencial en la producción de silaje es su costo, ya que evaluar los gastos asociados permite mejorar la gestión de recursos y la maximización de la rentabilidad del sistema (Rocha, Drewry, Willett y Luck, 2022).

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad nutricional y el costo del silaje de maíz planta entera cosechado en diferentes estadios de madurez.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en una finca ubicada en el distrito de San Pedro de Ycuamandyyú, departamento de San Pedro, Paraguay ($23^{\circ}44'S$; $56^{\circ}46'W$), entre los meses de enero y julio de 2023. Durante el desarrollo del cultivo, las condiciones climáticas promedio fueron: temperatura media de $22,34^{\circ}C$, humedad relativa de 78,32% y precipitación acumulada de 129 mm (Figura 1).

El suelo donde se implantó el cultivo corresponde a un Alfisol, clasificado como *Mollic Paleudalf* de textura franco-arenosa y estructura débil (López et al., 1995). En enero de 2023, se realizó un muestreo para análisis físico-químico del suelo (Tabla 1).

Con base en los resultados del análisis, se aplicaron 500 kg ha^{-1} de cal dolomítica (PRNT= 95 %) utilizando una encaladora, con el objetivo de elevar la saturación de bases al 60%. Un mes después del encalado, se realizó la preparación del suelo con rastra pesada de 16 discos y después se delimitaron cuatro subparcelas de 2.500 m^2 para cada tratamiento.

La siembra se realizó con sembradora mecánica con dosificador de semillas tipo rotor acanalado externo y dosificador de fertilizantes del tipo rodillo alimentador. Se ajustó para que la siembra fuera con un espaciamiento de 20 cm entre plantas y 45 cm entre hileras, resultando en una densidad de $111.111\text{ plantas ha}^{-1}$, utilizándose 20 kg ha^{-1} de semilla de un híbrido comercial de ciclo corto.

Simultáneamente, se aplicaron 130 kg ha^{-1} de fertilizante formulado NPK (15-15-15), según la recomendación del análisis de suelo. El control de plagas y malezas se realizó con $0,35\text{ L ha}^{-1}$ de una mezcla insecticida (Thiametoxam, Bifentrin y Lufenuron) y $1,5\text{ L ha}^{-1}$ de glifosato.

A los 90 días de la siembra, se extrajeron al azar 10 mazorcas por tratamiento, se partieron por la mitad de manera longitudinal para determinar el estado de la línea de leche y el momento óptimo de cosecha.

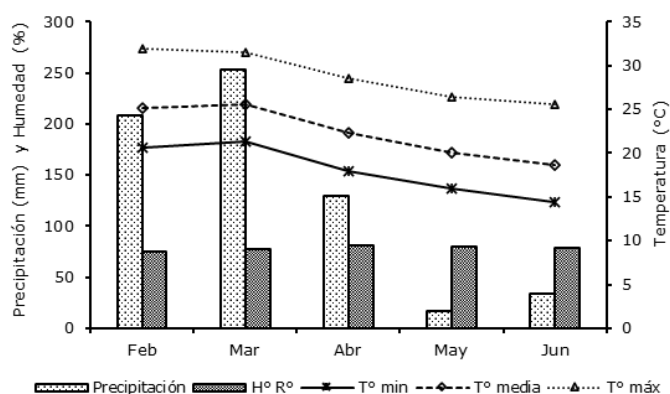


Figura 1. Registro de temperaturas mínimas, medias y máximas, humedad relativa y precipitación acumulada durante el desarrollo del cultivo. San Pedro de Ycuamandyyú, 2023.

Tabla 1. Resultados del análisis de suelo correspondiente a la parcela donde fue implantado el cultivo de maíz. San Pedro de Ycuamandyyú, 2023.

pH	M.O.	P	S	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H + Al	CIC	V
H ₂ O	%	--mg dm ³ --		-----cmol dm ³ -----							%
5,93	1,11	6,11	3,10	1,93	0,34	0,14	0	0	1,89	4,30	56,02

CIC: capacidad de intercambio catiónico; V: porcentaje de saturación de bases.

La cosecha se realizó a 15 cm del suelo y el picado en partículas de entre 1 y 2 cm, mediante una picadora de arrastre, surco simple, con sistema de picado con rotor de 12 cuchillas, sistema de recolección con rolos alimentadores de accionamiento hidráulico y demanda de potencia de 50 HP.

El forraje cosechado se inoculó con *Lactobacillus spp.* (1×10^{10} UFC g⁻¹), a razón de 2 g t⁻¹ de forraje verde, posteriormente se cargó y se compactó en microsilos de polietileno, color negro con 70 kg de capacidad y se selló herméticamente para mantener un ambiente anaeróbico.

Los microsilos se abrieron 28 días después del sellado, se tomaron muestras de 1 kg de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones y se remitieron a un laboratorio para los análisis de calidad nutricional.

Se evaluaron el potencial de hidrógeno (pH) y materia seca (MS) según Silva y Queiroz (2002); digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) según Di Marco (2011); proteína bruta (PB), cenizas (MM) y extracto etéreo (EE) de acuerdo con Association Analytical Chemists (2007); fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (LIG) conforme a Van Soest et al. (1991); proteína insoluble en detergente neutro (PIDN) y proteína insoluble en detergente ácido (PIDA) según Licitra et al. (1996); nutrientes digestibles totales (NDT) según Weiss (1993) y carbohidratos no fibrosos (CNF) según Sniffen et al. (1992).

El costo de producción (CP) de silaje a partir de una superficie de 1 ha de cultivo de maíz, fue determinado en dólares (1 USD= 7.286 Gs) siguiendo la metodología propuesta por Durán y Scoponi (2005) y Arce (1999), contemplando:

- **Costos directos (CD):** preparación del terreno (análisis de suelo, encalado y rastreada), siembra y fertilización (insumos y mano de obra), manejo fitosanitario (insecticidas y herbicidas), y actividades de cosecha y ensilado, calculadas según tarifas de una empresa especializada.
- **Costos indirectos (CI):** depreciación de maquinarias (tractor, sembradora y pulverizadora) e impuesto inmobiliario.

El costo por kg de materia verde (MV) y materia seca (MS) se obtuvo dividiendo el CP total entre los rendimientos. El rendimiento en MV se estimó con muestras de 1 m² en cuatro sitios por tratamiento, extrapoladas a hectárea. El de MS se calculó multiplicando la MV por el porcentaje de MS.

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) utilizando la prueba de Fisher ($\alpha = 0,05$). En los casos en que se detectaron diferencias significativas, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5%. Todos los análisis se realizaron utilizando el software estadístico InfoStat®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de MS mostró variaciones significativas ($p<0,05$) en función del estadio de madurez del maíz. Al ensilar el cultivo en los estadios de ½ y ¾ LL, se obtuvieron valores de MS adecuados para una fermentación óptima (Tabla 2), situándose dentro del rango recomendado de 30 a 35% según lo reportado por Marafon et al. (2015). En contraste, en el estadio de ¼ LL, el contenido de MS fue inferior a dicho umbral, lo que podría favorecer fermentaciones indeseables y, en consecuencia, comprometer la calidad del ensilado (Liu et al., 2023).

El valor de pH en el tratamiento de ¼ LL fue significativamente menor ($p<0,05$) respecto a los demás. Esto se debe a la mayor concentración de carbohidratos solubles presentes en la planta en este estadio de madurez, los cuales generan una fermentación más intensa, que a su vez produce un descenso rápido del pH (Behling Neto et al., 2017).

Por otro lado, Santos et al. (2010) sostienen que los forrajes con mayores contenidos de MS tienden a estabilizarse en valores de pH más elevados, lo cual también explicaría el comportamiento observado en el presente estudio. A pesar de las diferencias entre tratamientos, todos los valores de pH se mantuvieron dentro del rango óptimo establecido (3,80 a 4,20) según McDonald, Henderson y Heron (1991).

Respecto al contenido de MM y PB, se registró una disminución significativa ($p<0,05$) con el avance del estadio de madurez, siendo mayores en el tratamiento ¼ LL (Tabla 2). En contraste, los valores de CNF y NDT aumentaron conforme maduró la planta, destacándose el tratamiento ¾ LL. En el caso del EE, no se observaron diferencias significativas ($p>0,05$).

Estas disminuciones en MM y PB pueden atribuirse a un efecto de dilución, causado por el incremento en el contenido de MS (Vilela et al., 2008; Dahmardeh et al., 2009). No obstante, los niveles de PB aún superan el mínimo requerido por la microbiota ruminal (7%) para su mantenimiento (Lazzarini et al., 2009). Tendencias similares fueron reportadas por Marafon et al. (2015) en relación con la MM y por Vilela et al. (2008) respecto a la PB.

Tabla 2. Materia seca (MS), potencial de hidrógeno (pH), materia mineral (MM), proteína bruta (PB), carbohidrato no fibroso (CNF), extracto etéreo (EE) y nutrientes digestibles totales (NDT) del silaje de maíz cosechado en diferentes estadios de madurez. San Pedro de Ycuamandyyú, 2023.

Variables	Estadio de madurez			CV (%)
	¼ LL	½ LL	¾ LL	
MS (%MV)	20,50 c	29,39 b	31,10 a	1,70
pH	3,87 b	4,19 a	4,19 a	1,58
MM (%MS)	7,30 a	5,90 b	5,07 c	5,14
PB (%MS)	8,77 a	7,95 b	7,67 c	1,00
CNF (%MS)	19,67 c	34,03 b	37,63 a	3,82
EE (%MS)	4,11	4,69	4,72	9,60
NDT (%MS)	57,51 c	67,24 b	70,55 a	2,14

En las filas, las medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí estadísticamente ($P>0,05$).

CV: Coeficiente de variación.

LL: Línea de leche en el grano.

En cuanto al incremento de CNF y NDT en los tratamientos ½ LL y ¾ LL, este se debe a la mayor proporción de granos en la estructura de la planta (Diniz Buso, Machado, Ribeiro y Silva (2018); Souza et al., 2022). Del mismo modo, Souza et al. (2022) y Nazli et al. (2019) también observaron aumentos en los contenidos de CNF y NDT en silajes de maíz recolectados en diferentes estadios de madurez.

Los valores de FDN, FDA, LIG y PIDA disminuyeron significativamente ($p<0,05$) con el avance del estadio de madurez, observándose mayores valores en ¼ LL y los menores en ¾ LL, siendo el estadio ½ LL intermedio (Tabla 3). En contraposición, la DIVMS aumentó con la madurez, con valores superiores en el tratamiento ¾ LL. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de PIDN ($p>0,05$).

La disminución en los componentes fibrosos se debe al incremento de la proporción de mazorca en la estructura de la planta, así como al mayor contenido de almidón en los granos conforme avanza la maduración (Dahmardeh et al., 2009; Souza et al., 2022). Este aspecto es importante, ya que la fibra incide negativamente en la digestibilidad y el valor energético del forraje (Yu et al., 2003).

Comportamientos similares han sido reportados por Marafon et al. (2015) y Nazli et al. (2019), quienes también encontraron reducciones en los valores de FDN y FDA en ensilajes de maíz en distintos estados de maduración, aunque sin variaciones significativas en el contenido de lignina.

Con relación a la disminución de la PIDA, este puede explicarse también por un efecto de dilución. Esto es relevante, ya que esta fracción proteica no es aprovechable por el animal, al estar unida a la FDA (Detmann et al., 2012; Gaviria Rivera y Barahona, 2015). Lo anterior sugiere que, a mayor madurez, la proporción de proteína disponible y aprovechable es mayor.

En cuanto al aumento de la DIVMS en estadios más avanzados de madurez, este se asocia al menor contenido de FDA (Tabla 3) y al mayor tenor de CNF (Tabla 2), como señalan Van Soest (1994) y Krämer-Schmid, Lund y Weisbjerg (2016). Del mismo modo, Souza et al. (2019) reportaron mejoras en la digestibilidad de la MS en maíz ensilados en estadios más avanzados de maduración.

Los valores del costo total para la producción de silaje a partir de un cultivo de maíz en una superficie de una hectárea (Tabla 4) aumentan a medida que avanza el

Tabla 3. Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (LIG), proteína insoluble en detergente neutro (PIDN), proteína insoluble en detergente ácido (PIDA) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del silaje de maíz cosechado en diferentes estadios de madurez. San Pedro de Ycuamandyyú, 2023.

Variables	Estadio de madurez			CV (%)
	¼ LL	½ LL	¾ LL	
FDN (%MS)	60,15 a	47,43 b	44,92 c	2,00
FDA (%MS)	36,79 a	26,97 b	25,12 c	1,54
LIG (%FDN)	4,39 a	2,28 b	1,69 c	10,81
PIDN (%PB)	12,66	11,56	11,31	14,56
PIDA (%PB)	8,30 a	7,09 b	6,16 c	3,85
DIVMS (%)	60,24 c	67,89 b	69,33 a	0,54

En las filas: Las medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí estadísticamente ($P>0,05$).

CV: Coeficiente de variación.

LL: línea de leche del grano.

Tabla 4. Costo de producción (USD) por hectárea de silaje de maíz, por kg de MV y MS de acuerdo a los estadios de madurez. San Pedro de Ycuamandyyú, 2023.

Conceptos	Estadio de madurez		
	¼ LL	½ LL	¾ LL
Costo directo (CD)	1.618,85	1.660,03	1.701,21
Preparación de terreno	113,94	113,94	113,94
Siembra y fertilización	102,96	102,96	102,96
Control fitosanitario	33,33	33,33	33,33
Control de malezas	16,47	16,47	16,47
Corte y picado	116,68	116,68	116,68
Ensilaje ¹	1.235,47	1.276,65	1.317,83
Costo indirecto (CI)	34,64	34,64	34,64
Impuesto inmobiliario	20,59	20,59	20,59
Depreciación (maquinarias)	14,05	14,05	14,05
Costo total (CD + CI)	1.653,49	1.694,67	1.735,86
Rendimiento (kg MV ha ⁻¹)	36.000	37.200	38.400
Rendimiento (kg MS ha ⁻¹)	7.380	11.119	11.942
Costo por kg producido (MV)	0,046	0,045	0,045
Costo por kg producido (MS)	0,224	0,152	0,145

¹ El costo de ensilaje ya incluye el precio del silo bolsa e inoculante.

estadio de madurez del cultivo. Específicamente, la cosecha y el ensilado en el estadio de madurez ½ LL implicaron un incremento del 2,5% respecto al estadio ¼ LL; mientras que en el estadio ¾ LL, el aumento fue del 5%.

Estos incrementos se atribuyen principalmente al mayor costo del proceso de ensilaje, el cual está directamente relacionado con el volumen de forraje ensilado, es decir, a mayor volumen, mayor será el costo asociado. En este sentido, los estadios de madurez de ½ LL y ¾ LL registraron mayores producciones de biomasa (Tabla 4). Paniagua-Alcaráz et al. (2022), también reportaron mayores costos totales del ensilaje del sorgo cuando se registran mayores rendimientos.

Por el contrario, al analizar los costos de producción por kilogramo de ensilaje en MV, se observa una tendencia a la disminución. En el tratamiento ½ LL, la reducción fue del 0,9%, mientras que en ¾ LL alcanzó el 1,82%. Aunque las diferencias no son marcadamente significativas, sí reflejan una ligera mejora en la eficiencia del proceso.

Sin embargo, al analizar el costo por kg de MS ensilada, las reducciones fueron del 31,98% en el estadio ½ LL y del 35,11% en ¾ LL, debido a las mayores productividades obtenidas en el cultivo del maíz en estos estadios, compensando la inversión realizada, donde resultó más económico el estadio ¾ LL. Souza et al. (2022), también reportaron reducción en el CP por kg de MS del maíz ensilado cosechado en estadios de madurez más avanzados.

CONCLUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos bajo las condiciones en que fue desarrollado el presente estudio, se concluye que aumentaron significativamente la MS, CNF, NDT

y DIVMS, mientras que disminuyeron FDN, FDA, LIG y PIDA al avanzar la maduración (de ¼ LL a ¾ LL), obteniéndose mejores valores en el estadio de maduración de ¾ LL. Del mismo modo, el contenido de PB disminuyó significativamente con la madurez, pero se mantuvieron por encima del umbral requerido por la microbiota ruminal. El estadio de ¾ LL presentó mayor costo de producción, sin embargo, para producir 1 kg de MV y MS, dichos costos fueron compensados por la alta productividad obtenida, resultando el más económico entre los tratamientos. En consecuencia, el estadio ¾ LL es el momento más adecuado para cosechar y ensilar maíz planta entera, debido a que presenta mejor calidad nutricional del forraje y mayor eficiencia en el costo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arce, H. S. (1999). *Presupuestos, costos y decisiones de empresas agropecuarias*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Macchi.

Association Analytical Chemists. (2007). *Official methods of analysis*. 18th ed.: AOAC International, p. 21 – 22.

Behling Neto, A., Pereira dos Reis, R. H., Silva Cabral, L., Gonçalves Abreu, J. G., Sousa, D.P., e Sousa, F. G. (2017). Nutritional value of sorghum silage of different purposes. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(3), 288–299. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017413038516>

Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syasar, B., & Ramrodi, M. (2009). Effect of intercropping maize (*Zea mays* L.) with cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on green forage yield and quality evaluation. *Asian Journal of Plant Sciences*, 8, 235–239. <https://doi.org/10.3923/ajps.2009.235.239>

Detmann, E., Souza, M. A., Valadares-Filho, S. C., Queiroz, A. C., Berchielli, T. T., Saliba, E. O. S., Cabral, L. S., Pina, D. S., Ladeira, M. M., & Azevedo, J. A. G. (2012). *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio

Branco, Suprema: Suprema, 214 p.

- Di Marco, O. (2011). *Estimación de calidad de los forrajes*. Sitio Argentino de Producción Animal, *Producir XXI*, 20(240), 24-30.
- Diniz Buso, W. H., Machado, A. S., Ribeiro, T. B., e Silva, L. O. (2018). Produção e composição bromatológica da silage de híbridos de milho sob duas alturas de corte. *Revista de Agricultura Neotropical*, 5(4), 74-80. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i4.2682>
- Durán, R., & Scoponi, L. (2005). *El gerenciamiento agropecuario en el siglo XXI: Bases para una competitividad sustentable*. Buenos Aires, Argentina: Osmar D. Buyatti.
- Gaviria, X., Rivera, J., y Barahona, R. (2015). Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 194-201.
- Grolli Carvalho, A. F., Martin, T. N., Santos, S., Müller, T. M., e Piran Filho, F. A. (2016). Perfil agrônomo e bromatológico de silagem de milho no sudoeste do Paraná. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114(2), 149-159.
- Jiang, M., Ma, Y., Khan, N., Khan, M. Z., Akbar, A., Khan, R. U., Kamran, M., & Khan, N. A. (2022). Effect of spring maize genotypes on fermentation and nutritional value of whole plant maize silage in northern Pakistan. *Fermentation*, 8 (1), 587. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020587>
- Krämer-Schmid, M., Lund, P., & Weisbjerg, M. R. (2016). Importance of NDF digestibility of whole crop maize silage for dry matter intake and milk production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.007>
- Kung, 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, 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Lazzarini, I., Detmann, E., Sampaio, C. B., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., Souza, M. A., & Oliveira, F. A. (2009). Dinâmicas de trânsito e degradação da fibra em detergente neutro em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade e compostos nitrogenados. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61 (3), 635-647. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000300017>
- Licitra, G., Hernandez, T. M., & Van Soest, P. J. (1996). Standardizations of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 57, 347-358. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)
- Liu, X., Li, D., Ge, Q., Yang, B. y Shenghang, L. (2023). Efectos del período de cosecha y la proporción de mezcla sobre las características y calidad del ensilaje mixto de alfalfa y maíz. *Animal Feed Science and Technology*, 306, 115796. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115796>
- López, O., González, E., Llamas, P., Molinas, A., Franco, E., García, S., & Ríos, E. (1995). *Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay* (284 págs.). Asunción, Paraguay: MAG/Banco Mundial. <https://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
- Macedo, A. J. S., Neto, J. M. C., Silva, M. A., & Santos, E. M. (2019). Potencialidades y limitaciones de las plantas forrajeras para ensilaje: Revisión. *Revista Brasileira de Higiene y Sanidad Animal*, 13(2), 320-337.
- Marafon, F., Neumann, M., Carletto, R., Wrobel, F. L., Mendes, E. D., Spada, C. A., & Faria, M. V. (2015). Nutritional characteristics and losses on fermentation of corn silage, harvested in different reproductive stages with different grain processing. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (2), 917-932.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The Biochemistry of Silage*. Marlow: Chalcombe Publications. 340p.
- Motta, A. C. V., Araujo, E. M., Broadley, M. R., Young, S. D., Barbosa, J. Z., Prior, S. A., & Schmidt, P. (2020). Minerals and potentially toxic elements in corn silage from tropical and subtropical Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, e20190214.
- Nazli, M. H., Halim, R. A., Abdullah, A. M., Hussin, G., & Samsudin, A. A. (2019). Potential of four corn varieties at different harvest stages for tropical silage production in Malaysia. *Asian Australasian Journal of Animal Science (AJAS)*, 32 (2), 224-232.
- Neumann, M., Poczynek, M., Leão, G. F. M., Figueira, D. N., & Souza, A. M. (2018). Desempenho de híbridos de milho para silagem cultivados em diferentes localidades com três densidades populacionais. *Revista Brasileira Milho e Sorgo*, 17 (1), 49-62.
- Paniagua-Alcaráz, P. L., Ocampos, D. A., Franco-Ibars, R., Fatecha-Fois, D., Salas-Mayeregger, J., Portillo, G. A., & Silva, M. (2022). Comportamiento productivo y costo de producción del sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L. Moench) bajo condiciones de fertilización e irrigación. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 30(4), 347-357. <https://doi.org/10.53588/alpa.300407>
- Rocha, E. M. C., Drewry, J. L., Willett, R. M., & Luck, B. L. (2022). Assessing kernel processing score of harvested corn silage in real-time using image analysis and machine learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 203 (12), 107415. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107415>
- Santos, R. D. dos, Pereira, L. G. R., Neves, A. L. A., Araújo, G. G. L. de, Voltolini, T. V., Brandão, L. G. N., Aragão, A. S. L., e Dórea, J. R. R. (2010). Características de fermentação da silagem de seis variedades de milho indicadas para a região semiárida brasileira. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62(6), 1423-1429. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000600019>
- Silva Filho, A. S., Serante, S. C., Castro, W. J. R., Silva, T. B. R., Negrão, F. M., Oliveira, M. A., Semim, C. S., Ferreira, C. M., Ferraz, A. P. F., Andrade, S. P., e Oliveira, W. C. M. (2022). Produtividade e características estruturais de cultivares de milho para produção de silagem. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 16(1), 1-7. <https://doi.org/10.5935/1981-2965.20220003>
- Silva, D. J., & Queiroz, A. C. (2002). *Análises de alimentos (métodos químicos e biológicos)*. 3rd ed. Viçosa Editora UFV, 235p.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets:

- II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70, 3562–3577. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>
- Souza, A. M., Neumann, M., Rampim, L., Almeida, E. R., Matchula, A. F., Cristo, F. B., & Faria, M. V. (2022). Effect of storage time on the chemical composition of whole and grainless corn plant silage harvested at different maturity stages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 51, e20200180. <https://doi.org/10.37496/rbz5120200180>
- Souza, W. F. de, Costa, K. A. de P., Guarnieri, A., Severiano, E. da C., Silva, J. T. da, Teixeira, D. A. A., Oliveira, S. S., & Dias, M. B. de C. (2019). Production and quality of the silage of corn intercropped with Paiaguas palisadegrass in different forage systems and maturity stages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48, e20180222. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180222>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2^a ed.). Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vilela, H. H., Rezende, A. V., Vieira, P. F., Andrade, G. A., Evangelista, A. R., e Almeida, G. B. S. (2008). Valor nutritivo de silagens de milho colhido em diversos estádios de maturação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37 (7), 1192–1199. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000700008>
- Weirich Neto, P. H., Garbuio, P. W., Souza, N. M. de, Delalibera, H. C., & Leitão, K. (2013). Fragment size of corn silage according to the dry matter and forage harvester adjustments. *Engenharia Agrícola*, 33(4), 764–771.
- Weiss, W. P. (1993). Predicting energy value of feeds. *Journal of Dairy Science*, 76, 1802–1811. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77512-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77512-8)
- Yu, P., Meier, J., Christensen, D. A., Rossnagel, B., & McKinnon, J. J. (2003). Using the NRC-2001 model and the DVE/OEB system to evaluate nutritive values of Harrington (malting-type) and Valier (feed-type) barley for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 107, 45–60. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00062-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00062-2)