

Alimentación y nutrición animal

Artículo de investigación científica y tecnológica

Potencial agronómico, productivo, nutricional y económico de cuatro genotipos de maíz forrajero en el valle de Chancay, Perú

 Rufino Máximo Maguiña-Maza¹,  Sharon Carolyn Francisco Perez¹,
 Gerardo Luis Pando Cárdenas²,  Emmanuel Sessarego Dávila¹,
 Néstor Humberto Chagray Ameri³,  Hilario Noberto Pujada Abad¹,
 Félix Esteban Airahuacho Bautista^{1*}

¹Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC). Huacho, Perú.

²Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Huaral, Perú.

³Inversiones Pecuarias Granados SAC. Huaura, Perú.

*Autor de correspondencia: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC). Escuela de Ingeniería Zootécnica (UNJFSC). Av. Mercedes Indacochea No. 609. Huacho, Huaura, Perú.
fairahuacho@unjfsc.edu.pe

Editor temático: Claudia Janeth Ariza Nieto (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Recibido: 21 de abril de 2020

Aprobado: 02 de febrero de 2021

Publicado: 20 de septiembre de 2021

Para citar este artículo: Maguiña-Maza, R. M., Francisco Perez, S. C., Pando Cárdenas, G. L., Sessarego Dávila, E., Chagray Ameri, N. H., Pujada Abad, H. N., & Airahuacho Bautista, F. E. (2021). Potencial agronómico, productivo, nutricional y económico de cuatro genotipos de maíz forrajero en el valle de Chancay, Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e1931. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:1931



Resumen

El objetivo de la investigación fue comparar las características agronómicas, productivas, nutricionales y económicas de cuatro genotipos de maíz forrajero: INIA 617 Chuska, M28T Marginal 28 Tropical, Atlas 777 e INIA 619 Megahíbrido, en el valle de Chancay, Perú. Los cuatro genotipos, con cuatro repeticiones cada uno, fueron distribuidos aleatoriamente en 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo representada por 16 surcos de 29 m de longitud, espaciados a 0,85 m, con una distancia de siembra entre golpes de 0,30 m y tres semillas por golpe. Las características agronómicas se evaluaron a los 93 días de siembra, mientras que el rendimiento productivo, nutricional y económico fueron estimados a los 110 días postsiembra. Los genotipos INIA 617 y M28 alcanzaron la mayor altura de planta, mientras que INIA 619 y Atlas 777 mostraron el mayor número de hojas y número de mazorcas por planta, respectivamente. El factor estado de madurez del forraje solo influyó en el rendimiento de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) y fue observado en INIA 617 y M28T, genotipos cosechados al estado de madurez recomendado. Por efecto de genotipos, Atlas 777 alcanzó el mayor rendimiento en materia verde y peso de mazorcas, así como el mayor rendimiento en proteína, grasa y cenizas, una superioridad debida posiblemente a su característica permanentemente verde. Basados en el rendimiento de materia seca y la utilidad, los cuatro genotipos muestran similar potencial productivo y económico.

Palabras clave: características agronómicas, estadio de madurez, plantas forrajeras, potencial lechero, rendimiento del forraje

Agronomic, productive, nutritional and economic potential of four forage maize genotypes

Abstract

The objective of the research was to compare the agronomic, productive, nutritional and economic characteristics of four forage maize genotypes: INIA 617 Chuska, M28T Marginal 28 Tropical, Atlas 777 and INIA 619 Megahybrid, in the Chancay Valley - Peru. The four genotypes, with four replications each, were randomly distributed in 16 experimental units. Each experimental unit was represented by 16 rows of 29 m in length, spaced at 0.85 m, with a sowing distance between hits of 0.30 m and three seeds per hit. The agronomic characteristics were evaluated at 93 days of planting, while the productive, nutritional and economic yield were estimated at 110 days after planting. The INIA 617 and M28 genotypes reached the highest plant height, while INIA 619 and Atlas 777 showed the highest number of leaves and number of ears per plant, respectively. The maturity state factor of the forage only influenced the yield of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) and was observed in INIA 617 and M28T, genotypes harvested at the recommended maturity state. By effect of genotypes, Atlas 777 achieved the highest yield in green matter and ear weight, as well as the highest yield in protein, fat and ash, superiority possibly due to its stay green characteristic. Based on dry matter yield and utility, the four genotypes show similar productive and economic potential.

Keywords: agronomic characters, feed crops, forage yield, mature stage, milk production potential

Introducción

El maíz forrajero *Zea mays* L. (Poaceae) es utilizado ampliamente en la alimentación de ganado vacuno, siendo suministrada la planta en su totalidad picada y/o ensilada (Morand & Balbi, 2020). Aunque gran parte del valor alimenticio del maíz forrajero se debe a la mazorca de alto contenido en almidón, una proporción considerable proviene de la pared celular presente en el tallo y hojas (Boon et al., 2012).

Si bien, la selección del maíz por el grano a lo largo del tiempo mejoró la tolerancia al estrés y resistencia a enfermedades (Tollenaar et al., 1994), no existe información suficiente sobre la respuesta ambiental y genotípica de otros componentes de la planta, o sobre el rendimiento o la calidad del forraje con fines de alimentación de ganado (Bertoia & Aulicino, 2014). En muchas situaciones, se seleccionan híbridos de alto rendimiento de grano, no sin antes haber decidido cosecharlo como grano o forraje; y la presencia de factores como la falta de disponibilidad de agua podrían limitar la producción de grano (Klopfenstein et al., 2013), lo que favorece la decisión de cosecharlo como forraje. Si la siembra de maíz es con fines de producir forraje, se puede elegir sembrar híbridos de temporada más larga porque producen más grano y forraje que los híbridos de temporada más corta (Klopfenstein et al., 2013).

Por razones económicas y genéticas, la selección del maíz para forraje busca mejorar el rendimiento del grano y su digestibilidad (Barrière et al., 2005), por lo que los programas de mejoramiento genético seleccionan características de alta digestibilidad e ingestibilidad (Bertoia & Aulicino, 2014). Los híbridos modernos han demostrado tener, en promedio, una digestibilidad *in vivo* de la pared celular de 5,5 % más baja que los anteriores, lo que resulta en una reducción del 2,0 % en la digestibilidad de la materia seca, a pesar de una tendencia al aumento leve pero significativo en el contenido de grano (Barrière et al., 2005). Dado que la digestibilidad de los componentes de la planta varía con el genotipo, la calidad del maíz estará determinada por la morfología o arquitectura de la planta (Bertoia & Aulicino, 2014). Las proporciones de las fracciones morfológicas que cumplen funciones en el desarrollo fenológico de las plantas dependen de los antecedentes genéticos de la planta y de las prácticas agronómicas (Budakli-Çarpici et al., 2010; Hetta et al., 2012); e influyen sobre el valor nutricional del forraje (Cox & Cherney, 2001).

Por lo general, las áreas de siembra del maíz destinado a la producción de forraje están ubicadas en granjas lecheras cerca de centros urbanos o áreas marginales, que no son ambientes agronómicos ideales para la expresión de su máximo potencial obteniéndose bajos rendimientos, por lo que los criterios de selección de genotipos forrajeros deberían de considerar la interacción genotipo - medio ambiente (Bertoia & Aulicino, 2014). A través del mejoramiento genético es posible contar con materiales especializados que cumplan con los requerimientos de los productores, seleccionando plantas con mayor rendimiento forrajero, sin descuidar el aspecto nutritivo del forraje (Palacio, 2014). Por ello, la presente investigación evaluó el rendimiento productivo y la calidad nutricional de cuatro genotipos de maíz utilizados en la alimentación del ganado vacuno lechero en la costa central del Perú.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el lote 09 de la Estación Experimental Agraria Donoso Huaral, del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Huaral, Región Lima, Perú (figura 1).

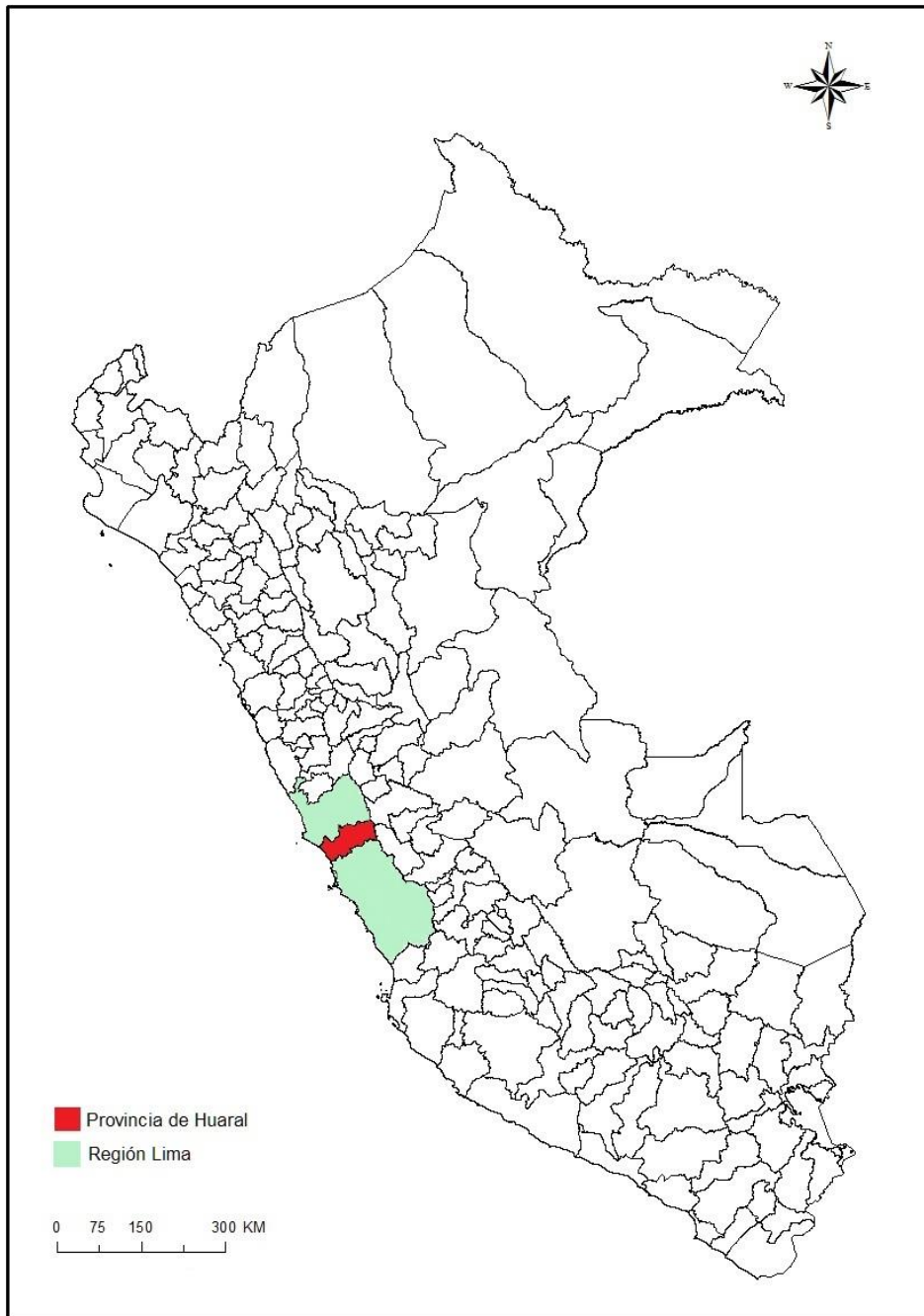


Figura 1. Ubicación de la Provincia de Huaral, Región Lima (Perú).

Fuente: Elaboración propia

Se evaluaron los genotipos de maíz INIA 617 Chuska (INIA 617), Atlas 777, Marginal 28 Tropical (M28T) e INIA 619 Megahíbrido (INIA 619), distribuidos aleatoriamente en 16 unidades experimentales (cuatro genotipos de cuatro replicas cada uno). Cada unidad experimental estuvo representada por 16 surcos de 29 m de longitud, espaciados a 0,85 m, con una distancia de siembra entre golpes de 0,30 m y tres semillas por golpe.

Previo a la siembra se realizó el análisis de suelo, cuyos resultados fueron utilizados para los cálculos de fertilización (216 - 92 - 75 unidades de N (nitrógeno) - P (fósforo)- K (potasio), respectivamente). La dosis de urea fue aplicada en dos fases, entre los 20 días y 45 días; mientras que fosfato diamónico y sulfato de potasio se aplicaron a los 20 días postsiembra. Las plantas fueron cosechadas a los 110 días, donde INIA 617 y M28T presentaban granos a ½ línea de leche (indicador de campo de estadio maduro para cosecha de maíz forrajero); mientras INIA 619 (grano con ¼ línea de leche) y Atlas 777 (grano estado lechoso-masoso) se mostraban en estadio inmaduro.

Se evaluaron las características agronómicas (n = 10 plantas por unidad experimental) como altura de planta (desde la base de la planta hasta el último nudo del tallo donde se sostiene o emerge la panoja), número de hojas por planta (sin considerar la primera hoja no funcional) y número de mazorcas por planta, a los 93 días de la siembra. Una planta aleatoriamente seleccionada de cada unidad experimental fue picada al momento de la cosecha y enviada al laboratorio para realizar el análisis químico.

El análisis químico proximal de las muestras de forraje fue realizado en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Basados en dicha metodología (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 2005), la humedad fue determinada en 5 g de muestra colocada en una estufa por más de 6 horas, mientras que la ceniza fue determinada en horno de incineración a temperatura de 700 °C durante 7 horas. Para determinar la proteína, en una cocina de digestión, se colocó 0,3 g de muestra y 3,0 ml de ácido sulfúrico, y se digirió hasta observar el balón completamente cristalino. Luego de terminada la digestión, se agregó 5 ml de hidróxido de sodio concentrado e inmediatamente conectado el vapor para producir la destilación. Después del destilado, se tituló con ácido clorhídrico 0,05 normal y se registró el gasto.

La proteína bruta (%) fue determinada por la siguiente fórmula: $(\text{ml HCL} \times \text{normalidad} \times \text{mEq nitrógeno} \times 100) / \text{g de muestra}$. Para determinar la grasa total, 3 g de muestra deshidratada empaquetada en un pedazo de papel filtro Whatman fue colocada en el aparato Soxhlet, agregándose seguidamente hexano y calentada durante 3 horas a 69 °C. Luego de tres horas, a una velocidad de goteo del hexano condensado refrigerado de 50 gotas por minuto, se extrajo la muestra remanente. La grasa bruta (%) fue determinada por la siguiente fórmula: $(\text{peso matraz con grasa} - \text{peso matraz vacío}) / \text{g de muestra} \times 100$. La fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) fue determinada según el *acid detergent fiber method (A200)* de ANKOM (2005), utilizando de esta tecnología bolsas filtros F57, desecador de bolsa plegable con desecante en el interior, rotulador resistente al disolvente y al ácido F08, y analizador (Fiber Analyzer ANKOM Technology A200/A200I, Macedon NY, EE. UU.); así como reactivos ANKOM como alfa-amilasa bacteriana termoestable FAA, sulfito de sodio FSS y solución detergente ácido.

Al momento de la cosecha, se determinó el rendimiento de materia verde (kg/ha) y rendimiento de mazorcas (kg/ha), y con la información agronómica y química disponible se estimó el rendimiento de materia seca (MS), proteína, grasa, cenizas, FDN, FDA y carbohidratos no fibrosos (CNF). El contenido

energético, energía neta de lactación (ENL), de los genotipos del maíz forrajero fue estimado según el National Research Council (NRC, 2001).

El potencial de producción lechera por tonelada de MS y por hectárea fue determinado utilizando el *software* Milk 2006 (Shaver et al., 2006). Se utilizaron los CNF (fracción formada principalmente por almidón) y 62 % de degradabilidad *in vitro* en 30 h para la fracción FDN (Hristov et al., 2019), como información para los cálculos del *software* Milk 2006.

Se utilizó un diseño completamente al azar para todos los genotipos. Las características agronómicas se analizaron con la prueba de Kruskal-Wallis y la prueba *pos hoc* de Dunn. El rendimiento productivo, aportes nutricionales y económicos se analizaron mediante el análisis de varianza y la prueba *pos hoc* de Tukey, mientras que el estadio de madurez fue analizado con la prueba t de Student. Los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados con el *software* libre R versión 3.6.1.

Resultados y discusión

El presente estudio evaluó características agronómicas, rendimiento productivo e indicadores económicos de cuatro genotipos de maíz cosechados a una misma edad después de sembrado, con la finalidad de elegir el cultivo de maíz adecuado con fines forrajeros. El maíz forrajero puede ser cosechado en cualquier momento durante su período de crecimiento, obteniéndose buenos rendimientos vegetativos sin demasiadas exigencias de tierra cultivable y factores climáticos tales como la intensidad de luz y temperatura (Fu et al., 2011). En la tabla 1 se muestran las características agronómicas de los genotipos de maíz forrajero evaluados. La mayor altura de planta fue alcanzada por el INIA 617 y M28T, el mayor y menor número de hojas por planta se registraron en el INIA 619 e INIA 617, respectivamente; mientras que el mayor y menor número de mazorcas por planta fueron registradas en Atlas 777 y M28T, respectivamente ($p < 0,05$).

Tabla 1. Altura de planta (AP), hojas por planta (HP) y mazorcas por planta (MP) de los genotipos de maíz cultivados con fines forrajeros

| Características Agronómicas | Genotipos | | | | p valor |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| | INIA 617 | Atlas 777 | M28T | INIA 619 | |
| AP, m | 2,5 ^a ± 0,2 | 2,3 ^b ± 0,2 | 2,5 ^a ± 0,2 | 1,9 ^b ± 0,2 | 2,2e ⁻¹⁶ |
| HP, n° | 13,0 ^b ± 1 | 13,5 ^{ab} ± 1 | 13,0 ^{ab} ± 2 | 13,0 ^a ± 2 | 0,035 |
| MP, n° | 1 ^{ab} ± 1 | 1 ^a ± 1 | 1 ^b ± 0 | 1 ^{ab} ± 1 | 0,048 |

Nota: Los valores son medianas ± RIQ (n = 40). Diferentes letras en fila indican diferencias significativas entre genotipos (Prueba de Kruskal-Wallis y prueba *pos hoc* de Dunn; $p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Las fichas técnicas de los genotipos evaluados reportan alturas de 2,8; 2,05; 2,2 y 2,3 m para INIA 617, Atlas 777, M28T e INIA 619, respectivamente (INIA, 2010; INTEROC, s.f.; INIA, s.f.; INIA, 2012). Los genotipos Atlas 777 y M28T alcanzaron alturas de planta mayores a las reportadas en sus respectivas fichas técnicas, mientras que el INIA 617 e INIA 619 mostraron alturas de planta inferiores reportadas; sin embargo, el INIA 619 y Atlas 777 fueron cosechados antes de su estado óptimo de cosecha recomendado (INIA, 2012; INTEROC, s.f.). Collazos et al. (2018) reportaron alturas de planta de 2,42 y 2,40 m y hojas por planta de 12,4 y 13,1 para los genotipos M28T e INIA 617, respectivamente, siendo similares a los encontrados en el presente estudio. El mayor número de hojas por planta alcanzado por el INIA 619 puede estar relacionado con que dicho genotipo, para este estudio, fue cosechado antes de su estado óptimo de cosecha, debido a que las plantas de maíz desarrollan hojas en función de su madurez relativa y del ambiente de crecimiento (DuPont Pioneer, 2015); mientras que el mayor número de mazorcas por planta mostrado por Atlas 777 sería inherente a su genotipo, toda vez que la densidad de las plantas, estrategia utilizada para aumentar la productividad del grano de maíz, fue similar en todos los genotipos evaluados (Serpa et al., 2012).

A finales del siglo pasado, se tenía la necesidad de desarrollar un maíz forrajero con mayor rendimiento de follaje y mejor calidad para la elaboración de ensilado, siendo consideradas muy útiles para este fin las variedades macolladoras y de múltiples mazorcas (Jugenheimer, 1987). Actualmente, además de las virtudes anteriormente mencionadas, el maíz forrajero está siendo seleccionado por su relación de mazorcas a tallos y hojas, rendimiento de MS, proteína y fibra cruda (Fassio et al., 2018). En la figura 2 se muestra el rendimiento en toneladas por hectárea de materia verde, MS y mazorcas de los genotipos de maíz forrajero. El estado de madurez del forraje no influyó significativamente sobre el rendimiento de materia verde, peso de mazorcas y MS en los cuatro genotipos evaluados. Por efecto del genotipo, el rendimiento de materia verde y rendimiento de mazorca fue superior para Atlas 777 ($p < 0,05$). Los rendimientos de MS fueron estadísticamente similares en los cuatro genotipos de maíz forrajero.

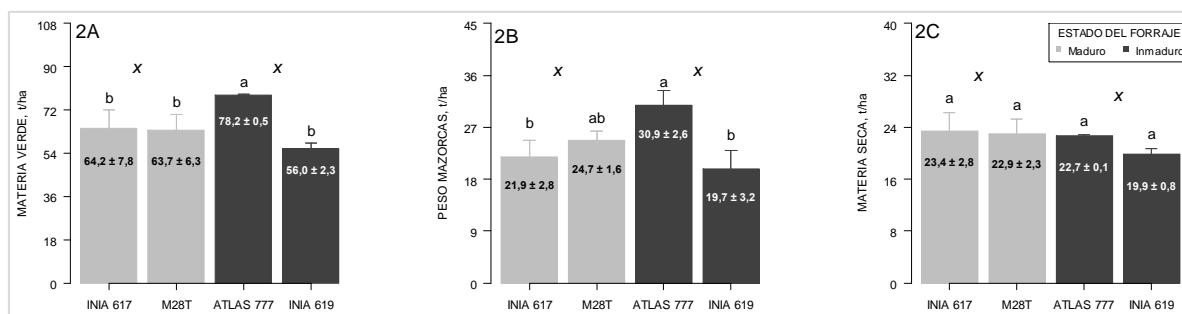


Figura 2. Rendimiento de materia verde (2A), mazorcas (2B) y materia seca (2C) de los genotipos de maíz con fines forrajeros. Los valores son medias \pm DS ($n = 4$). Diferentes letras indican diferencias significativas entre genotipos (ANOVA de una vía seguido de Tukey-HSD; $p < 0,05$) y estadio de forraje (t de Student).

Fuente: Elaboración propia

En la actualidad, para asegurar la buena producción y calidad de leche, se debe de contar con híbridos de maíz de buen rendimiento forrajero y adecuado contenido de fibra, almidón, proteína y altos niveles de energía (Zendejas, 2020). Sánchez-Ledezma e Hidalgo-Ardón (2018) consideran que la altura de la planta del maíz está relacionada con el rendimiento de biomasa, y, por tanto, con los pesos frescos y secos de la planta. Sin embargo, las mayores alturas de planta alcanzadas por INIA 617 y M28T en el presente estudio no se vieron reflejadas en mayores rendimientos de materia verde y seca (figura 2A y 2C). La mayor producción de forraje en materia verde mostrada por el genotipo Atlas 777 (figura 2A), estaría influenciada por el mayor número de mazorcas por planta (tabla 1), mayor rendimiento de peso de mazorca por hectárea (figura 2B), así como por el contenido de humedad relativamente alto en tallos y hojas, propio de genotipos que presentan el rasgo permanentemente verde (Fassio et al., 2018). Esta superioridad, sin embargo, no se vio reflejada en el contenido de MS (figura 2C), debido posiblemente a que el genotipo fue cosechado antes de alcanzar su estado óptimo de cosecha. La proporción de mazorca en la materia fresca, la madurez de la mazorca y la redistribución de la MS soluble, desde las hojas y tallo hacia la mazorca, determinaron el contenido de MS de todo el cultivo (Struik, 1983).

El contenido de MS es un indicador de la calidad del maíz forrajero, sin embargo, su contenido depende de la etapa de madurez. La MS del maíz forrajero aumenta durante su proceso de maduración, desde menos del 20 % al momento de la floración hasta 40 % cuando el grano está completamente maduro y la planta ha alcanzado su senescencia (Wilkinson et al., 1998). Fu et al. (2011) estimaron etapas óptimas de cosechas de 112 y 96 días para dos híbridos de maíz forrajero, y después de estas etapas la digestibilidad de la MS disminuye.

El rendimiento promedio de $22,22 \pm 2,14$ t/ha de MS para los cuatro genotipos de maíz evaluados se muestra superior a los reportados por otras investigaciones, tomando como referencia 60.000 plantas cosechadas por hectárea. Collazos et al. (2018) reportaron rendimientos de 5,99 y 7,16 t/ha MS a los 160 días de cosecha para M28T e INIA 617, respectivamente, en condiciones de selva peruana. Estos resultados son inferiores a los obtenidos en el presente estudio (22,94 y 23,37 t/ha MS para M28T e INIA 617, respectivamente). Budakli-Çarpici et al. (2010) reportaron rendimiento de 18,72 t/ha MS para un maíz híbrido forrajero, siendo cercano a los 19,89 t/ha MS obtenido por el genotipo INIA 619. Mendes et al. (2008), al evaluar 23 híbridos de maíz recomendados para producción de ensilaje, reportaron un rendimiento promedio de $11,46 \pm 2,70$ t/ha de MS, con rendimientos que variaron entre 6,84 y 16,18 t/ha de MS, cuando el forraje fue cosechado con granos a $\frac{1}{2}$ de línea de leche. Elizondo y Boschini (2002) reportaron un promedio de 9,20 t/ha MS para maíz forrajero híbrido cosechado a los 119 días y con una densidad de siembra de 58.000 plantas.

En la figura 3 se muestran los rendimientos del maíz forrajero evaluados desde un enfoque de aporte de nutrientes por hectárea. El estado de madurez influyó significativamente sobre el rendimiento de FDN y FDA ($p < 0,05$), siendo los genotipos INIA 617 y M28T los que mostraron los mayores rendimientos de dichas fracciones de fibra. Por efecto del genotipo, el mayor rendimiento de proteína, grasa y cenizas fue mostrado por Atlas 777 ($p < 0,05$). El rendimiento en CNF fue estadísticamente similar en los cuatro genotipos evaluados.

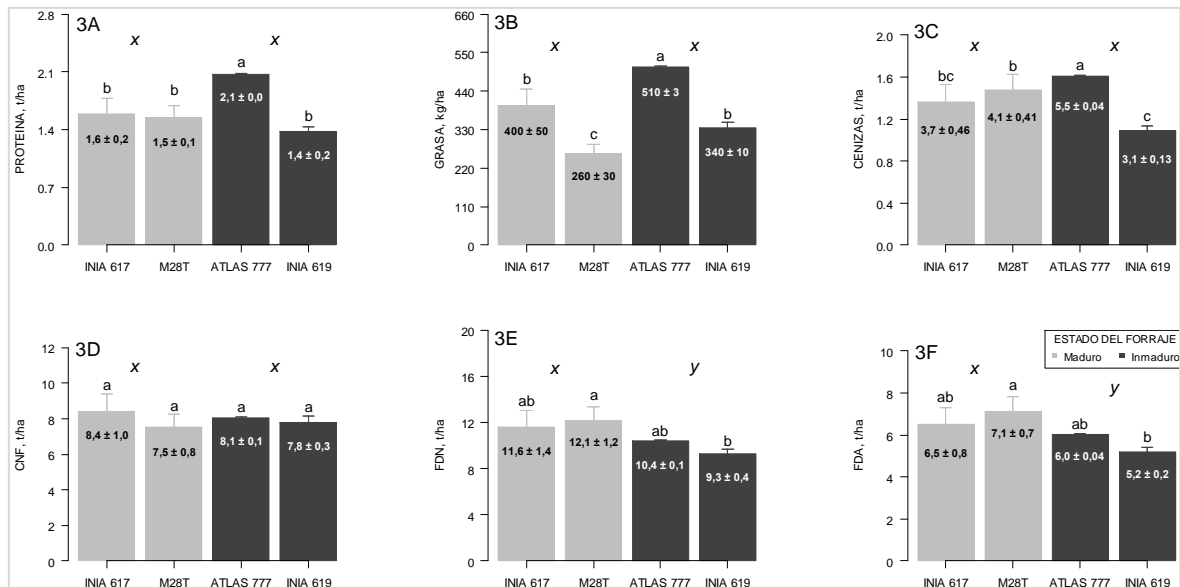


Figura 3. Rendimiento de proteína (3A), grasa (3B), ceniza (3C), CNF (3D), FDN (3E) y FDA (3F) de los genotipos de maíz cultivados con fines forrajeros. Los valores son medias \pm DS ($n = 4$). Diferentes letras indican diferencias significativas entre genotipos (ANOVA de una vía seguido de Tukey-HSD; $p < 0,05$) y estadio de forraje (t de Student). NE: Por favor enviar el archivo original editable de esta figura. Fuente: Elaboración propia

Las mejoras genéticas han contribuido en gran medida a aumentar el rendimiento de grano del maíz (Duvick, 2005), incrementando la MS pero a la vez disminuyendo la concentración proteica del grano (Ciampitti & Vyn, 2012) o viceversa (Uribelarrea et al., 2007); desafíos científicos actuales que buscan mejorar ambos parámetros simultáneamente (Zhang et al., 2020). En el presente estudio, el mayor contenido de proteína en el genotipo Atlas 777 (figura 3A) se debe a que es un híbrido de permanencia verde. Estos híbridos acumulan mayores cantidades de MS, principalmente a través de una mayor absorción de nitrógeno posfloración y acumulación de biomasa (Ciampitti & Vyn, 2012), explicado en gran medida por el retraso de la senescencia de la hoja después de la floración (Echarte et al., 2008). Los híbridos verdes permanecen típicamente con una menor movilización de nitrógeno debido a que una mayor proporción de nitrógeno de la planta se retiene en los órganos de la hoja y el tallo durante la madurez, resultando en una reducción proteica del grano (Pommel et al., 2006). Uribelarrea et al. (2007) observaron que los cambios en la concentración de proteína del grano se relacionan directamente con los cambios en la absorción y el uso de nitrógeno por la planta, al mismo tiempo que la amplia variación en la producción de proteínas y MS estarían acompañados con cambios en el metabolismo de nitrógeno y carbono en la planta.

Uno de los factores que influyen sobre el contenido de lípidos y minerales es la fase de madurez de la planta (Bondi, 1988). En las plantas, los lípidos cumplen funciones estructurales principalmente en las hojas, y conforme la planta madura, son acumulados en las semillas como triglicéridos con fines de reserva energética (McDonald et al., 2011). El contenido de minerales de los forrajes es muy variable, y es afectado considerablemente por la especie y la etapa de crecimiento (a mayor edad, el contenido de cenizas disminuye) (Church et al., 2010). En el presente estudio, el contenido en grasa y cenizas mostrado por Atlas 777, forraje cosechado en estadio inmaduro, fue mayor comparado con el contenido de los dos genotipos cosechados en estadio maduro (figura 3B).

La fracción de CNF es fácilmente fermentable en el rumen y se relaciona estrechamente con la secreción proteica de la leche en vacas lecheras (Wang et al., 2014; Zhu et al., 2013). El aumento del potencial genético de las vacas productoras de leche ha llevado al uso de dietas ricas en CNF que maximizan la producción lechera, siendo el maíz forrajero una alternativa de bajo costo en la búsqueda de fuentes alimenticias ricas en esta fracción nutritiva. En el presente estudio, la producción de CNF fue estadísticamente similar en los genotipos evaluados (figura 3D).

El contenido de proteína, grasa y CNF disminuye mientras que la lignificación de paredes celulares y fracción FDN aumenta conforme el estadio de madurez de las especies forrajeras se acerca (Fassio et al., 2018). La FDN es menos digerible que los CNF, por lo que su concentración en el alimento se correlaciona negativamente con la concentración de energía (NRC, 2001). En este estudio, los genotipos INIA 617 y M28T fueron cosechados en estadio maduro, y el mayor contenido en FDN y FDA, y menor contenido en proteína, grasa y ceniza de los mismos ($p < 0,05$; figura 3A-F), sugieren un menor aporte de energía al compararse con el genotipo Atlas 777, que fue cosechado antes del estado óptimo recomendado. Al estado óptimo de cosecha, el contenido de MS y FDN continúan incrementándose mientras la digestibilidad, contenido de proteína y grasa por hectárea disminuyen (Fu et al., 2011); aunque la disminución de la digestibilidad de hojas y tallo es compensada por un aumento en la cantidad de grano (Weaver et al., 1978) y un mayor contenido de energía digestible por hectárea (Fassio et al., 2018).

El genotipo M28T, cosechado al estado de madurez recomendado, mostró los mayores rendimientos en FDN y FDA ($p < 0,05$; figuras 3E y F), mientras que estas fracciones fueron inferiores en el INIA 619, cosechado antes del estado de madurez recomendado. Mayores contenidos de FDN reducen la digestibilidad del forraje y la tasa de pasaje por el rumen de la vaca, restringiendo el consumo de MS (Pinos-Rodríguez et al., 2002; Van Soest et al., 1991). Sin embargo, existen genotipos de maíz de alta digestibilidad en un estadio de crecimiento temprano que disminuye rápidamente hacia su madurez, a la vez que otros genotipos presentan baja digestibilidad en estadios tempranos y disminución más lenta de la misma hacia la madurez (Fassio et al., 2018).

En la tabla 2 se muestran los indicadores económicos importantes para los ganaderos a la hora de elegir un forraje para la alimentación del ganado vacuno lechero. El potencial de producción lechera fue estadísticamente similar para los cuatro genotipos de maíz evaluados ($p > 0,05$). Sin embargo, se observan tendencias numéricas de mayor producción de leche para el genotipo Atlas 777, influenciado, posiblemente por su mayor contenido de proteína, grasa, minerales y menor contenido de FDA y FDN.

Tabla 2. Indicadores económicos estimados de los genotipos de maíz cultivados con fines forrajeros

| Indicadores económicos* | Genotipos | | | | p valor |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------|
| | INIA 617 | M28T | Atlas 777 | INIA 619 | |
| Potencial de producción de lechera, kg/ha | 29.096 ± 3.547; 2.048 ^a | 26.674 ± 2.648; 1.529 ^a | 30.879 ± 196; 113 ^a | 26.170 ± 1.096; 633 ^a | 0,111 |
| Ingreso venta leche USD/ha | 11.551 | 10.590 | 12.259 | 10.390 | |
| Egreso para producción de leche, USD/ha | 10.009 | 9.176 | 10.622 | 9.003 | |
| Utilidad, USD | 1.546 ± 188; 109 ^a | 1.417 ± 140; 141 ^a | 1.640 ± 10,4; 10 ^a | 1.390 ± 58,2; 58 ^a | 0,111 |

* Precio de venta y costo de producción por kg de leche fue establecido en USD 0,397 y 0,344, respectivamente (un dólar es equivalente a 3,2 nuevos soles).

Nota: Los valores son medias ± desviación estándar; error estándar (n = 4). Diferentes letras indican diferencias significativas entre genotipos (ANOVA de una vía seguido de Tukey-HSD; $p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

La tendencia de mejores indicadores económicos mostrados por el genotipo Atlas 777 se relaciona con su característica permanentemente verde, donde la movilización del N (nitrógeno) del tallo, antes que de las hojas, hacia el grano mejoraría la disponibilidad de proteína para la proliferación de microorganismos del rumen (Kosgey et al., 2013). El genotipo INIA 619 mostró tendencias numéricas de inferiores rendimientos, sin embargo, este genotipo al igual que el Atlas 777, fueron cosechadas antes de su estado óptimo de cosecha, sugiriendo que no han expresado todo su potencial genético productivo y nutricional. Fu et al. (2011) observaron que después de alcanzar el estado óptimo de cosecha en híbridos de maíz forrajero, el contenido de MS y la fracción FDN continúan incrementándose mientras la digestibilidad, el contenido de proteína y grasa, así como la energía digestible por hectárea empiezan a disminuir. Sin embargo, si bien la digestibilidad de hojas, tallo y chala disminuye con la maduración, esta disminución es compensada por un aumento de la cantidad de grano (Weaver et al., 1978), lo que explicaría la similitud estadística de los indicadores económicos encontrada en los genotipos evaluados.

Conclusiones

La selección del maíz forrajero no solo debe estar enfocada en su rendimiento en materia verde, posiblemente una condición válida para productores y comerciantes de forraje, sino también en su aporte nutricional. Desde el punto de vista agronómico, INIA 617 y M28T evidenciaron mayor altura de planta, mientras que INIA 619 y Atlas 777 mostraron los mayores números de hojas y número de mazorcas por planta, respectivamente. El efecto del mayor estado de madurez de la planta al momento de la cosecha

fue observado en los genotipos INIA 617 y M28T, que mostraron mayores rendimientos de FDN y FDA. Por efecto de genotipos, Atlas 777 alcanzó el mayor rendimiento en materia verde y peso de mazorcas, así como mayor rendimiento en proteína, grasa y cenizas. Teniendo en cuenta el rendimiento de materia seca y la utilidad, los cuatro genotipos muestran similar potencial productivo y económico.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Estación Experimental Agraria, Donoso - Huaral, Perú.

Descargos de responsabilidad

Los autores están de acuerdo con la publicación de este artículo y declaran que no hay conflictos de interés que afecten los resultados de este estudio.

Referencias

- ANKOM. (2005). Methods for determining acid detergent fiber. Acid Detergent Fiber Method (A200). ANKOM technology. https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_5_ADF_A200.pdf
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18th ed., 4th rev.)
- Barrière, Y., Alber, D., Dolstra, O., Lapierre, C., Motto, M., Ordas, A., Van Waes, J., Vlasminkel, L., Welcker, C., & Monod, J. P. (2005). Past and prospects of forage maize breeding in Europe. I. The grass cell wall as a basis of genetic variation and future improvements in feeding value, *Maydica*, 50(3-4), 259-274. <https://digital.csic.es/handle/10261/42856>
- Bertoia, L. M., & Aulicino, M. B. (2014). Maize forage aptitude: Combining ability of inbred lines and stability of hybrids. *The Crop Journal*, 2(6), 407-418. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.07.002>
- Bondi, A. (1988). *Nutrición Animal*. Editorial Acribia.
- Boon, E. J. M. C., Struik, P. C., Engels, F. M., & Cone, J. W. (2012). Stem characteristics of two forage maize (*Zea mays* L.) cultivars varying in whole plant digestibility. IV. Changes during the growing season in anatomy and chemical composition in relation to fermentation characteristics of a lower internode. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 59(1-2), 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2011.05.001>
- Budakli-Çarpici, E., Çelik, N., & Bayran, G. (2010). Yield and Quality of Forage maize as influenced by Plant Density and Nitrogen Rate. *Turkish Journal of Field Crops*, 15(2), 128-132. <http://www.field-crops.org/assets/pdf/product5131f40617154.pdf>
- Church, D. C., Pond, W. G., & Pond, K. R. (2010). *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales* (2a Ed.). Editorial Limusa.

- Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: a review. *Field Crops Research*, 133, 48-67. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008>
- Collazos, R., Neri, J., Huamán, E., & Juárez, L. (2018). Cultivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en el distrito de Molinopampa-Chachapoyas-Amazonas. *Revista de Investigación Agropecuaria Sustentable*, 2(3), 23-29. <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20183.400>
- Cox, W. J., & Cherney, D. J. R. (2001). Influence of brown midrib, leafy and transgenic hybrids on corn forage production. *Agronomy Journal*, 93(4), 790-796. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.934790x>
- DuPont Pioneer. (2015). *Corn Growth and Development*. DuPont Pioneer. https://www.maplehurstfarms.com/assets/1/17/ais2416_Corn_Growth_and_Development_Mobile-linked.pdf
- Duvick, D. N. (2005). The contribution of breeding to yield advances in maize. *Advances in Agronomy*, 86, 83-145. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)86002-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86002-X)
- Echarte, L., Rothstein, S., & Tollenaar, M. (2008). The Response of Leaf Photosynthesis and Dry Matter Accumulation to Nitrogen Supply in an Older and a Newer Maize Hybrid. *Crop Science*, 48, 656-665. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.06.0366>
- Elizondo, J., & Boschini, 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>
- Fassio, A., Ibañez, W., Fernández, E., Cozzolino, D., Pérez, O., Restaino, E., Pascal, A., Rabaza, C., & Vergara, G. (2018). *El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua* [Serie técnica 239]. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8897/1/st-239-2018.pdf>
- Fu, F., Guo, C., Tang, Q., Liu, J., & Li, W. (2011). Growth Dynamics and Optimal Harvesting Stage of Two Forage Maize Varieties. *Agricultural Sciences in China*, 10(2), 220-227. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60308-4](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60308-4)
- Hetta, M., Mussadiq, Z., Gustavsson, A. M., & Swensson, C. (2012). Effects of hybrid and maturity on performance and nutritive characteristics of forage maize at high latitudes, estimated using the gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*, 171(1), 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.015>
- Hristov, A. N., Harper, M. T., Roth, G., Canale, C., Huhtanen, P., Richard, T. L., & DiMarco, K. (2019). Effects of ensiling time on corn silage neutral detergent fiber degradability and relationship between laboratory fiber analyses and in vivo digestibility. *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2333-2346. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16917>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2012). *Híbrido simple de maíz amarillo duro INIA 619 Megahíbrido* [Plegable N° 5]. INIA. https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/maiz-amarillo-duro/INIA_619.pdf
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (s.f.). *Maíz amarillo duro Marginal 28 tropical* [Plegable]. INIA. <https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/maiz-amarillo-duro/AmarilloDuro-Marginal28.pdf>

- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2010). *Maíz forrajero INIA 617 - CHUSKA* [Plegable N° 9]. INIA. Lima, Perú. https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/maiz-forrajero/INIA_617.pdf
- INTEROC. (s.f.). *Atlas 777* [Ficha técnica]. INTEROC. <http://interoc-custer.com/wp-content/uploads/2018/02/Ficha-Tecnica-de-Atlas-777.pdf>
- Jugenheimer, R. (1987). *Maíz: Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas*. Editorial Limusa.
- Klopfenstein, T. J., Erickson, G. E., & Berger, L. L. (2013). Maize is a critically important source of food, feed, energy and forage in the USA. *Field Crops Research*, 153, 5-11. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.006>
- Kosgey, J. R., Moot, D., Fletcher, A., & Mckenzie, B. (2013). Dry matter accumulation and post-silking N economy of 'stay-green' maize (*Zea mays* L.) hybrids. *European Journal of Agronomy*, 51, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.07.001>
- McDonald, P., Edwards, L. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal Nutrition* (7a Ed.). Prentice Hall.
- Mendes, M., Von Pinho, R., Pereira, M., Faria Filho, E., & Souza Filho, A. (2008). Avaliação de híbridos de milho obtidos do cruzamento entre linhagens com diferentes níveis de degradabilidade da matéria seca. *Bragantia*, 67(2), 285-297. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000200004>
- Morand, V., & Balbi, C. N. (2020). Maíz para silo de planta entera: efecto de genotipo y altura de corte en la producción y calidad para alimentación animal. *Información Tecnológica*, 31(3), 231-240. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000300231>
- National Research Council [NRC]. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. (7a ed.) National Academies Press.
- Palacio, V. (2014). *Comparación agronómica de 12 híbridos de maíz de alto potencial forrajero con un testigo regional* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila]. Repositorio Digital Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4061>
- Pinos-Rodríguez, J. M., Gonzalez, S. S., Mendoza, G. D., Barcena, R., Cobos, M. A., Hernandez, A., Ortega, M. E. (2002). Effect of exogenous fibrolytic enzyme on ruminal fermentation and digestibility of alfalfa and rye-grass hay fed to lambs. *Journal of Animal Science*, 80(11), 3016-3020. <https://doi.org/10.2527/2002.80113016x>
- Pommel, B., Gallais, A., Coque, M., Quilleré, I., Hirel, B., Prioul, J. L., Andrieu, B., & Floriot, M. (2006). Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. *European Journal of Agronomy*, 24(3), 203-21. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.001>
- Sánchez-Ledezma, W., & Hidalgo-Ardón, C. (2018). Forage production and nutritive value of maize hybrids and local oats in Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 153-164. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27732>
- Serpa, M. S., Silva, P. R. F., Sangoi, L., Vieira, V. M., & Marchesi, D. R. (2012). Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(4), 541-549. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400010>
- Shaver, R., Lauer, J., Coors, J., & Hoffman, P. (2006). *MILK2006 corn silage* [software]. Cumberland Valley Analytical Services (CVAS). http://www.foragelab.com/Media/Milk_2006_Corn_Silagev1_Spreadsheet.xls

- Struik, P. C. (1983). *Physiology of forage maize (Zea Mays L.) in relation to its production and quality* [Tesis de doctorado, Agricultural University, Wageningen]. Biblioteca Wageningen University & Research. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/205777>
- Tollenaar, M., McCullough, D. E., & Dwyer, L. M. (1994). Physiological basis of the genetic improvement of corn. En Slafer, G.A., Dekker M. (Eds.), *Genetic Improvement of Field Crops* (pp. 83-236). Marcel Dekker.
- Uribelarrea, M., Moose, S. P., & Below, F. E. (2007). Divergent selection for grain protein affects nitrogen use in maize hybrids. *Field Crops Research*, 100(1), 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.05.008>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wang, B., Mao, S. Y., Yang, H. J., Wu, Y. M., Wang, J. K., Li, S. L., Shen, Z. M., & Liu, J. X. (2014). Effects of alfalfa and cereal straw as a forage source on nutrient digestibility and lactation performance in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(12), 7706-7715. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7961>
- Weaver, D. E., Coppock, C. E., Lake, G. B., & Everett, R. W. (1978). Effect of maturation on composition and *in vitro* matter digestibility of corn plant parts. *Journal of Dairy Science*, 61, 1782-1788. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(78\)83803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(78)83803-X)
- Wilkinson, J. M., Newman, G., & Allen, D. M. (1998). *Maize: producing and feeding maize silage*. Chalcombe Publications.
- Zendejas, E. (2020, marzo 10). Evaluación de rendimiento, calidad y potencial productivo lechero de diferentes híbridos de maíz para forraje en Altos Norte de Jalisco. *Ganadería.com*. <https://www.ganaderia.com/destacado/Evaluacion-de-rendimiento%2C-calidad-y-potencial-productivo-lechero-de-diferentes-hibridos-de-maiz-para-forraje-en-Altos-Norte-de-Jalisco>
- Zhang, L., Liang, Z., He, X., Meng, Q., Hu, Y., Schmidhalter, U., Zhang, W., Zou, C., & Chen, X. (2020). Improving grain yield and protein concentration of maize (*Zea mays* L.) simultaneously by appropriate hybrid selection and nitrogen management. *Field Crops Research*, 249, 107754. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107754>
- Zhu, W., Fu, Y., Wang, B., Wang, C., Ye, J. A., Wu, Y. M., & Liu, J. X. (2013). Effects of dietary forage sources on rumen microbial protein synthesis and milk performance in early lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(3), 1727-1734. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5756>