

COMPONENTES DE RENDIMIENTO FORRAJERO DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN CONDICIONES DE ESTEPA ESPINOSA-MONTANO BAJO TROPICAL (ee-MBT)-PERÚ

Forage yield components of maize genotypes in a conditions tropical low montane- thorny steppes (ee-MBT)-Peru

Nieves Estela Lopez-Arzapalo¹, Henry Briceño-Yen²

RESUMEN

El ámbito de estudio abarca la zona de vida de estepa espinosa–Montano Bajo Tropical (ee-MBT), en la cual los agricultores utilizan para forraje distintos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) seleccionadas empíricamente, sin información técnica sobre rendimiento forrajero ni respuesta a la fertilización. El experimento se realizó en el Centro de Investigación y Producción Canchán de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú (09° 55' 15" S, 76° 18' 40" O; 2020 m s. n. m.). Se aplicó un diseño factorial 5x3 en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento forrajero de cinco cultivares de maíz V1 (DK-7500), V2 (MT-28), V3 (criollo), V4 (DK-7088) y V5 (SV-3243), bajo tres niveles de fertilización N1 (149-35-167), N2 (231-42-200) y N3 (286-52-247) kg ha⁻¹ de N-P-K. Se evaluaron área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), altura de planta (AP), biomasa fresca (BF), biomasa seca (BS) e índice SPAD. Los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Duncan ($p \leq 0.05$). Se observaron diferencias significativas entre variedades y niveles de fertilización. La interacción entre variedad y fertilización tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento forrajero, especialmente en biomasa seca, donde la combinación V3N1 reporta 129.11 g. planta⁻¹ en BS. El cultivar V3 presentó los mayores rendimientos de BF (49.93 t ha⁻¹), BS (16.55 t ha⁻¹) y AP (1.84 m), mientras que V2 destacó por su mayor IAF (8.33) y AF (0.79 m²). El índice SPAD fue superior en V5 (43.21). Se concluye que los genotipos V3, V2 y V5 se adaptan y son recomendables para producción forrajera en condiciones similares.

Palabras clave: biomasa, clorofila, cultivares, producción, zona de vida.

ABSTRACT

The study area covers the thorny steppe–Tropical Low Montane (ee-MBT) life zone, where farmers use different empirically selected maize (*Zea mays* L.) cultivars for forage, without technical information on forage yield or response to fertilization. The experiment was conducted at the Canchán Research and Production Center of the Hermilio Valdizán National University, Huánuco, Peru (09° 55' 15" S, 76° 18' 40" W; 2020 m a.s.l.). A 5 × 3 factorial design in randomized complete blocks with four replications was applied. The study aimed to evaluate the forage performance of five corn cultivars V1 (DK-7500), V2 (MT-28), V3 (criollo), V4 (DK-7088) and V5 (SV-3243), under three fertilization levels N1 (149-35-167), N2 (231-42-200) and N3 (286-52-247) kg ha⁻¹ of N-P-K. Leaf area (LA), leaf area index (LAI), plant height (PH), fresh biomass (FB), dry biomass (DBM) and SPAD index were evaluated. Data were analyzed by ANOVA and Duncan's test ($p \leq 0.05$). Significant differences were observed between varieties and fertilization levels. The interaction between variety and fertilization had a significant effect on forage yield, especially in dry biomass, where the V3N1 combination reported 129.11 g. plant⁻¹ in BS. Cultivar V3 presented the highest BF (49.93 t ha⁻¹), BS (16.55 t ha⁻¹) and AP (1.84 m) yields, while V2 stood out for its higher LAI (8.33) and AF (0.79 m²). The SPAD index was higher in V5 (43.21). It is concluded that genotypes V3, V2 and V5 are adapted and recommended for forage production under similar conditions.

Keywords: biomass, chlorophyll, cultivars, production, life zone.

¹ Ingeniero Agrónomo, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3255-6315>. nieves5julio87@gmail.com

² Docente Investigador, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0629-3014>. hbriceno@unheval.edu.pe

INTRODUCCIÓN

A nivel global, el maíz (*Zea mays* L.) se siembra en más de 140 millones de hectáreas, siendo el cultivo de mayor relevancia económica debido a que cumple un rol crucial tanto en la alimentación humana y animal, ya sea como producto primario o transformado; además por su amplia adaptabilidad y múltiple diversidad que presenta se siembra en diversas latitudes (Paliwal et al., 2001; Briceño, 2012).

El maíz, planta gramínea C4 posee altas tasas de actividad fotosintética, puede almacenar y mantener una gran cantidad de energía y biomasa, además presenta bajos índices de fotorrespiración (García et al., 2006); esta especie con cimeros potenciales de producción de biomasa es ampliamente utilizado en sistemas de producción de forraje en diversas zonas y particularmente en aquellos predios conducidos por pequeños productores de agricultura de subsistencia vinculados a la agricultura familiar donde este cultivo se constituye como fuente de autoabastecimiento de alimento familiar y mantenimiento de animales mayores y menores; asimismo, siembran cultivares que han sido seleccionados por ellos mismos, bajo criterios propios, pero que no logran rendimientos adecuados. En agroecosistemas específicos, diversos estudios plantean efectuar la selección de genotipos adecuados, realizar una nutrición correcta, manejo fitosanitario oportuno, y dotación del recurso hídrico según la fenología del cultivo, aspectos considerados como factores clave para optimizar el rendimiento (Elizondo y Boschini, 2002; Collazos et al., 2018; González-Salas et al., 2018).

El maíz es la principal especie utilizada para la alimentación animal en sistemas ganaderos tropicales; sin embargo, su rendimiento y valor forrajero varían ampliamente según las condiciones agroecológicas y el manejo de fertilización. Para que los genotipos forrajeros expresen su máximo potencial, se requieren ambientes ideales, siendo fundamental establecer criterios de selección que consideren la interacción genotipo-ambiente (Bertoia y Aulicino, 2014). Esto permitirá disponer de material que cumpla con los requisitos de rendimiento de los productores. Dicha selección, evidentemente, implica estudios en contextos locales (Palacio, 2014). Para el consumo animal, el maíz es utilizado como forraje fresco, ensilado o rastrojo, presentando una mayor demanda

El maíz forrajero es un alimento básico para el ganado bovino (Boon et al., 2012). La fertilización influye y por ende un mayor consumo durante la época de estiaje (Luna-Ortega et al., 2013). significativamente en parámetros como el área foliar (AF), el índice de área foliar (IAF), la altura de planta (AP) y el contenido de clorofila, indicadores del potencial fotosintético y del rendimiento, (Mendoza-Elos et al., 2006). Los genotipos ofrecen una rentabilidad considerable en los sistemas de producción ganaderos, gracias a su elevado valor nutritivo y rendimiento de materia verde o seca como fuente de alimento (Franco et al., 2001; Núñez Hernández et al., 2012). Se requieren estudios previos de los materiales a establecer en una zona específica y, basándose en los resultados, utilizar aquellos que muestren mayor rendimiento y valor nutritivo (Reynoso et al., 2014; Vega, 2024).

En Perú, la crianza de ganado criollo y animales menores juega un papel importante en el sostenimiento económico de las familias agricultoras, quienes utilizan suplementos alimenticios balanceados y forrajes (Bartl et al., 2009). La población de ganado vacuno es de aproximadamente 4 727 000 cabezas, con un 78% ubicado en la sierra, 11% en la costa y 10% en la selva y más de 17 000 000 de cuyes; Huánuco cuenta con 254 342 cabezas de ganado (INEI, 2017).

En Huánuco, específicamente en condiciones de ee-MBT la información sobre el desempeño forrajero de variedades de maíz es escasa, lo que limita la selección de genotipos adaptados y productivos, los agricultores del ámbito conducen diferentes cultivos, además se dedican a la crianza de cuyes y ganado vacuno, utilizando cultivares de maíz para forraje, seleccionados según su percepción, los cuales no alcanzan buenos rendimientos. Debe tenerse en cuenta, los criterios de selección de maíces forrajeros que considera fundamental y necesario la interacción genotipo-medio ambiente (Bertoia y Aulicino, 2014).

En tal sentido, el objetivo fue determinar el comportamiento de cinco genotipos de maíz bajo tres niveles de fertilización en condiciones de ee-MBT y evaluar las variables asociadas al rendimiento forrajero como área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), altura de planta (AP), biomasa fresca (BF), biomasa seca (BS) e índice SPAD (clorofila).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El experimento se realizó en el Centro de Investigación y Producción Canchán de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco, Perú, ubicado en la zona de vida de estepa espinosa - Montano Bajo Tropical (ee-MBT), a 09° 55' 15" L S, y 76° 18' 40" L O, altitud de 2 020 m.s.n.m. La zona se caracteriza por presentar un clima cálido con temperaturas que promedian los 22 °C; la precipitación media anual de 281.80 mm y la humedad relativa promedio anual de 64.32%. El terreno cuenta con riego por gravedad, topografía plana, textura franca arcillo arenosa, buen drenaje y pH neutro.

Metodología

Se evaluaron en el ensayo cinco genotipos de maíz (V1) DK 7500, híbrido triple de maíz amarillo, doble propósito; (V2) maíz T28 variedad de maíz amarillo duro; (V3) criollo genotipo siempreverde; (V4) DK 7088 híbrido simple de maíz amarillo presenta características de doble propósito; (V5) SV-3243

híbrido simple de maíz amarillo doble propósito utilizado por los productores, con tres niveles de fertilización N1:194-35-167; N2:231-42-200; N3:286-52-247. Las fuentes de fertilizantes fueron urea, superfosfato triple y cloruro de potasio.

El diseño experimental fue una factorial 5x3 en bloques completos al azar con tres repeticiones. La distancia entre surcos fue de 80 cm y entre plantas 20 cm. Luego de haber efectuado previamente un riego, se sembraron manualmente dos semillas por golpe, resultando una densidad de 125 000 plantas h⁻¹. Los riegos se realizaron por gravedad teniendo en consideración las condiciones de humedad del suelo, efectuándose seis riegos hasta cosecha. Asimismo el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), se inició con aplicaciones dos días después de la emergencia en tres oportunidades con intervalo de ocho días entre ellas, de manera alternada los insecticidas clorpirifos 48%; emamectin benzoato 2% y cipermetrina 25 % a las dosis de 0.15%, 0.2% y 0.25% respectivamente, al área foliar y cogollo de la planta con una bomba de aspersión manual. En la Figura 1, se aprecian distintas fases del desarrollo de la investigación.



Figura 1. Riego pre siembra (A), siembra (B), fertilización (C), desarrollo (D), evaluación (E), determinación índice de clorofila con MultispeQ (F); muestras (G); evaluación de biomasa fresca (H).

Se evaluaron las siguientes variables: área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), altura de planta (AP), biomasa fresca (BF), biomasa seca (BS) e índice SPAD (clorofila). Los datos fueron obtenidos del área neta experimental de cada parcela cuando el 50% de las plantas se encontraban en estado de R1. Se midió la AP con un flexómetro, desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la espiga masculina; para determinar el AF, se realizó la medición en plantas dentro del área neta experimental midiéndose el ancho

por el largo y se multiplica por el factor 0.75 (Tanaka y Yamaguchi, 1984; Wilhelm et al., 2000); para el peso de BF se tomaron una muestra de plantas de los surcos centrales del área neta experimental los cuales fueron pesados y transformados a peso por hectárea según la densidad de siembra; posteriormente dichas muestras fueron sometidos a secado continuo en estufa hasta peso constante para calcular el peso de BS; la evaluación del contenido de clorofila, se realizó en la hojas situadas en la parte media de la planta (Castillo

y Ligarreto, 2010) y se utilizó el medidor de clorofila MultispeQ V.2.0. (Figura 1F) dicho valor es indicador del contenido de clorofila y N en las hojas, (Kuhlgert et al., 2016). Posteriormente los datos fueron sometidos al análisis de varianza (ANDEVA) y prueba de Duncan al 5%, con el software InfoStat v.20.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias significativas entre

variedades en las variables evaluadas (Tabla 1). El genotipo V2, presento mayor AF e IAF, valores son similares estadísticamente con el V3 y V5. Por otro lado, los cultivares V3 y V2 destacaron en AP; en lo que respecta a BF I V3, V2, V5 presentan promedios estadísticamente equivalentes; en tanto que para BS el genotipo V3 sobresale con un promedio superior a los demás cultivares. V5 obtuvo el mayor contenido de clorofila medido por índice SPAD.

Tabla 1. Variables evaluadas en los cinco maíces en estudio.

Variedad	AF (cm²)	IAF	AP (m)	BF (g pl ⁻¹)	BF (t ha ⁻¹)	BS (g pl ⁻¹)	BS (t ha ⁻¹)	SPAD
V3	0.67 abc	6.99 ab	1.84 a	399.44 a	49.93	132.42 a	16.55	36.49 b
V2	0.79 a	8.33 a	1.73 ab	390.56 a	48.82	84.73 bc	10.59	34.54 b
V5	0.71 ab	7.40 ab	1.57 b	357.78 ab	44.72	99.00 ab	12.38	43.21 a
V1	0.57 c	6.05 b	1.32 c	305.00 b	38.13	70.70 c	8.84	37.87 b
V4	0.59 bc	6.23 b	1.30 c	301.67 b	37.71	74.29 c	9.29	37.98 b

Área foliar (AF), índice área foliar (IAF), altura de planta (AP), biomasa fresca (BF), biomasa seca (BS), índice SPAD. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05).

Los resultados indican que tanto el material genético como el medio ambiente afectan significativamente el rendimiento forrajero (Adhikari et al., 2021; Tucuch-Cauch et al., 2011). Las variedades V3, V2 y V5 mostraron un mejor desempeño agronómico en todas las variables evaluadas. Esto corrobora estudios previos que asocian mayor área foliar e índice de clorofila con un mejor aprovechamiento de la radiación solar y mayor acumulación de biomasa. V3 y V2 presentan los valores más altos en biomasa total (Castellanos-Reyes et al., 2017).

La variedad V3 alcanzó un rendimiento de BF de 49.93 t ha⁻¹ y biomasa seca de 16.55 t ha⁻¹, valores superiores a lo reportado para maíz forrajero, en diferentes zonas de México y Perú (Godina et al., 2020; Manrique, 2015; Palacio, 2014; Maguiña-Maza et al., 2021; Collazos et al., 2018; Mendes et al., 2008; Salas y Fernández, 2019; Elizondo y Boschini, 2002).

Asimismo, los resultados obtenidos demuestran que la variedad V3 presentó mayor AP (1.84 m), superior a lo registrado por otros estudios (Adhikari et al., 2021; Tucuch-Cauch et al., 2011; Verde y Santolalla, 2021). Estos valores sugieren un alto potencial productivo y adaptación al ambiente donde se realizó el ensayo. Este comportamiento confirma el efecto del genotipo y medio ambiente en el rendimiento forrajero en maíz

(Castellanos-Reyes et al., 2017; Tinoco et al., 2008). Asimismo, el rendimiento en biomasa fresca está relacionado con el contenido de humedad relativamente alto en tallos y hojas, propio de genotipos que presentan el rasgo permanentemente verde, que fue una característica observada en los genotipos V3, V2 y V5 (Fassio et al., 2018).

Por otro lado, la variedad V2 mostró el mayor IAF (8.33) y AF (0.79), lo cual mejora la intercepción de luz y el desarrollo del cultivo (INTAGRI, 2008). Sin embargo, estos atributos no siempre se reflejan directamente en mayor biomasa seca, lo que confirma que el rendimiento es un rasgo multivariado dependiente de interacciones fisiológicas complejas (Fortis-Hernández et al., 2009).

El genotipo V5 presentó el mayor valor de SPAD equivalente a 43.21, indicador relacionado con el contenido de clorofila. El SPAD refleja la capacidad fotosintética de la planta y su relación con la eficiencia del uso del nitrógeno (Adhikari et al., 2021; Nuñez-Hernandez et al., 2012). Estos resultados coinciden con los estudios que relacionan altos índices de verdor con mayor producción de materia seca (González-Salas et al., 2018), concordante con los promedios obtenidos para BS de los genotipos V3 y V5.

Tabla 2. Interacciones genotipo con niveles de fertilización.

Interacción	AF (cm ²)	IAF	AP (m)	BF (g pl ⁻¹)	BS (g pl ⁻¹)	SPAD
V2N1	1.00 a	10.59 a	1.72 bcd	485.00 ab	95.51 cde	29.56 ef
V2N2	0.74 b	7.88 b	1.73 bcd	373.33 bcd	85.31 de	36.45 cde
V3N1	0.72 bc	7.53 bc	2.00 ab	416.67 bcd	129.11 a	32.47 ef
V5N2	0.71 bc	7.76 b	1.46 cde	355.00 cde	83.85 de	43.07 ab
V5N1	0.71 bc	7.11 bc	1.69 bcd	375.00 bcd	110.55 abc	42.53 abc
V5N3	0.70 bc	7.32 bc	1.57 cde	343.33 de	102.59 bcd	44.04 a
V4N3	0.68 bc	7.03 bc	1.39 de	358.33 cde	77.58 de	38.79 abcd
V3N3	0.65 bc	6.67 bc	2.14 a	425.00 bc	125.98 ab	39.03 abcd
V3N2	0.64 bc	6.77 bc	1.39 de	356.67 cde	115.18 abc	37.97 abcd
V2N3	0.64 bc	6.52 bc	1.74 bc	313.33 e	73.35 e	37.62 bcde
V1N3	0.64 bc	6.85 bc	1.32 e	288.33 e	81.08 de	39.62 abcd
V4N1	0.59 bc	6.63 bc	1.24 e	275.00 e	78.67 de	38.80 abcd
V1N1	0.55 bc	5.50 bc	1.40 cde	310.00 e	60.44 e	36.50 cde
V4N2	0.49 bc	5.03 c	1.26 e	271.67 e	66.63 e	36.36 cde
V1N2	0.55 c	5.78 bc	1.24 e	316.67 de	70.56 e	37.50 bcde

Área foliar (AF), índice área foliar (IAF), altura de planta (AP), biomasa fresca (BF), biomasa seca (BS), índice SPAD.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Las interacciones V3N1 y V3N3 presentaron los mayores valores de BS (Tabla 2). V2N1 registró el mayor IAF (10.59), mientras que V3N3 alcanzó la mayor AP (2.14 m). V5N3 presentó el valor más alto de SPAD (44.04), sugiriendo alta eficiencia en el uso del nitrógeno.

Con referencia a la fertilización, los resultados demuestran influencia de la interacción entre la variedad y los niveles de fertilización sobre las variables morfológicas (AF, IAF, ALT) y productivas (BF, BS, SPAD). el mejoramiento de la fertilidad del suelo aumentó el rendimiento (Aguilar-Carpio et al., 2017; Zou et al., 2024). La variedad V3, en interacción con los niveles de fertilización alcanza los valores más altos en BF, BS. Así mismo con respecto a las variables morfológicas el IAF alcanzó su mayor valor con la interacción V2N1 (10.59), y la AP fue significativamente mayor en V3N3 (2.14 m), estas variables morfológicas están fuertemente asociadas con el rendimiento en biomasa, tal como lo reportan otras investigaciones sobre maíz forrajero en condiciones similares (González et al., 2016; González-Salas et al., 2018; Ponce-Encinas et al., 2022). lo cual sugiere una alta adaptación a las condiciones edafoclimáticas de valle interandino en la zona de vida de ee-MBT, y recomendar la siembra de genotipos con la mejor adaptación (Luna-Ortega et al., 2013).

Respecto al contenido de clorofila (SPAD), se observó que los valores más altos se presentaron en la interacción V5N3 (44.04), lo cual evidencia una mejor asimilación de nitrógeno por parte de esa variedad bajo

fertilización elevada. Esta tendencia concuerda con otras investigaciones, donde concluyen que niveles superiores de N incrementan el contenido de clorofila y, por ende, la eficiencia fotosintética (Ponce-Encinas et al., 2022; Mendoza-Elos et al., 2006). La interacción V2N1 también resultó altamente competitivo en BF (485 g planta⁻¹), lo cual sugiere que el N1 de fertilización permite alcanzar rendimientos altos en algunas variedades, optimizando el uso de insumos y que los valores de biomasa seca obtenidos hasta 129.11 g planta⁻¹ en V3N1, superan ampliamente los registrados con otros niveles de fertilización (Salas y Fernández, 2019).

En conjunto, estos hallazgos confirman que la interacción genotipo y ambiente tiene impacto determinante en la productividad forrajera del maíz. Además, la variedad V3 muestra un alto potencial productivo bajo fertilización que la posiciona como una alternativa viable para sistemas de producción en zonas interandinas similares; asimismo refuerzan la importancia de seleccionar genotipos que equilibren arquitectura foliar, eficiencia fisiológica y respuesta al ambiente local (Paliwal et al., 2001; Boon et al., 2012), con el propósito de lograr rendimientos satisfactorios para los productores (Yescas et al., 2015).

CONCLUSIONES

Los resultados confirman la influencia significativa del material genético y el ambiente en el rendimiento forrajero del maíz. Las variedades V3, V2 y V5 demostraron un desempeño agronómico superior en las variables de rendimiento y morfológicas evaluadas, destacando el potencial de la variedad V3 y la V2.

Específicamente, la variedad V3 exhibió un rendimiento excepcional en BF (49.93 t ha⁻¹) y BS (16.55 t ha⁻¹) y mayor AP (1.84 m); el rasgo "permanentemente verde" observado en V3, V2 y V5, contribuyen a una mayor acumulación de biomasa, que acentúa su alto potencial productivo y adaptación al ambiente del ensayo.

Por otro lado, V2 se distinguió por su mayor IAF (8.33) y AF (0.79), mejorando la intercepción de luz, aunque esto no se tradujo directamente en mayor BS, confirmando la naturaleza multivariada del rendimiento. V5 mostró el valor más alto de SPAD (43.21), indicando una mejor capacidad fotosintética y eficiencia en el uso del nitrógeno, lo que concuerda con la BS obtenida para V3 y V5. La interacción entre la variedad de maíz y los niveles de fertilización resultó ser determinante en las características morfológicas y productivas. La combinación de la variedad V3 con fertilización generó valores más elevados en BS y AP, sugiriendo su alta adaptación a las condiciones edafoclimáticas de ee-MBT.

Los hallazgos refuerzan la importancia de una adecuada selección genotípica y un manejo agronómico óptimo. La variedad V3, con una fertilización adecuada, se presenta como una alternativa viable para la producción de forraje y resalta la necesidad de elegir genotipos que armonicen arquitectura foliar, eficiencia fisiológica y respuesta al ambiente local para lograr rendimientos óptimos, además de evaluar el performance de ella en otras latitudes.

El estudio aporta información útil para la selección de variedades de maíz adaptadas a condiciones de ee-MBT y para la definición de estrategias de fertilización que optimicen el rendimiento forrajero y la producción sostenible de los agroecosistemas en Huánuco.

Agradecimientos

Al personal técnico y de campo del Centro de Investigación y Producción Canchan, asimismo, por su apoyo en la investigación a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias y al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huánuco Perú.

BIBLIOGRAFÍA

- Adhikari, K; Bhandari, S; Aryal, K; Mahato, M; Shrestha, J. 2021. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento y rendimiento de variedades híbridas de maíz (*Zea mays* L.) (en línea). Journal of Agriculture and Natural Resources, 4(2):48-62. Disponible en <https://doi.org/10.3126/janr.v4i2.33656>
- Aguilar-Carpio, C; Escalante-Estrada, JAS; Aguilar-Mariscal, I; Pérez-Ramírez, A. 2017. Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno (en línea). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 4(12):475-483. Disponible en <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1000>
- Bartl, K; Mayer, AC; Gómez, CA; Muñoz, E; Hess, HD; Holmann, F. 2009. Economic evaluation of current and alternative dual-purpose cattle systems for smallholder farms in the Central Peruvian Highlands (en línea). Agricultural Systems 101(3):152-161. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.003>
- Bertoia, LM; Aulicino, MB. 2014. Maize forage aptitude: Combining ability of inbred lines and stability of hybrids (en línea). The Crop Journal 2(6):407-418. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.07.002>
- Boon, EJ; Struik, FM; Engels, JW; Cone, JW. 2012. Stem characteristics of two forage maize (*Zea mays* L.) cultivars varying in whole plant digestibility (en línea). NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences 59: 13-23. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.njas.2011.05.001>
- Briceño, YH. 2012. El maíz, *Zea mays* L., una planta de todos los tiempos. Imprenta Editorial Universal. 123 p.
- Castellanos-Reyes, MA; Valdés-Carmenate, R; López-Gómez, A; Guridi-Izquierdo, F. 2017. Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz (en línea). Cultivos Tropicales 38(3):112-116. Disponible en https://www.redalyc.org/pdf/1932/Resumenes/Abstract_193253129016_2.pdf
- Castillo, Á; Ligarreto, GA. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el piedemonte llanero colombiano (en línea). Ciencia y Tecnología Agropecuaria 11(2):122-128. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945029003.pdf>
- Collazos, R; Neri, J; Huamán, E; Juárez, L. 2018. Cultivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en el distrito de Molinopampa-Chachapoyas-Amazonas (en línea). Revista de Investigación Agropecuaria Sustentable 2(3):23-29. Disponible en <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20183.400>
- Elizondo, J; Boschini, C. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido (en línea). Agronomía Mesoamericana 13(1):13-17. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15517/am.v13i1.13227>

- Fassio, A; Ibañez, W; Fernández, E; Cozzolino, D; Pérez, O; Restaino, E; Pascal, C; Vergara, G. 2018. El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua (en línea). Serie técnica 239. Montevideo: INIA. Disponible en <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8897/1/st-239-2018.pdf>
- Fortis-Hernández, M; Leos-Rodríguez, JA; Preciado-Rangel, P; Orona-Castillo, I; García-Salazar, JA; García-Hernández, JL; Orozco-Vidal, JA. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo (en línea). Terra Latinoamericana 27(4):329-336. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/573/57313040007.pdf>
- Franco, MJ; González, HA; Pérez, LD; González, RM. 2001. Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6(8):1915-1927. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263142750018.pdf>
- García, F; Roselló, J; Santamarina, M. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas (en línea). Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España, 184 pp. Disponible en <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1911.3769>
- Godina, JE; Garay, JR; Mendoza, SI; Cancino, S; Rocandio, M; Ruiz, FL. 2020. Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(spe24):59-68. Disponible en <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2358>
- González, A; Figueroa, U; Preciado, P; Núñez, G; Luna, J; Antuna, O. 2016. Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7(2):301-309. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263145278007.pdf>
- González-Salas, U; Gallegos-Robles, MA; Vázquez-Vázquez, C; García-Hernández, JL; Fortis-Hernández, M; Mendoza-Retana, SS. 2018. Productividad de genotipos de maíz forrajero bajo fertilización orgánica (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9(spe20):4331-4341. Disponible en <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.1002>
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2017. Encuesta Nacional Agropecuaria 2017 (en línea). Disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1593/
- INTAGRI. 2008. El índice de área foliar (IAF) y su relación con el rendimiento del cultivo de maíz (en línea). Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/cereales/el-indice-de-area-foliar-iaf>
- Kuhlert, S; Greg, A; Zegarac, R; Osei-Bonsu, I; Hoh, D; Chilvers, MI; Roth, MG; Por, K; TerAvest, D; Weebadde, P; Kramer, DM. 2016. MultispeQ Beta 2016: una herramienta para el fenotipado de plantas a gran escala conectada a la red abierta PhotosynQ (en línea). Royal Society Open Science 3 160592. Disponible en <http://doi.org/10.1098/rsos.160592>
- Luna-Ortega, JG; García-Hernández, JL; Preciado-Rangel, P; Fortis-Hernández, M; Espinoza-Banda, A; Gallegos-Robles, M; Chavarria-Galicia. 2013. Evaluación de híbridos de cruces simples con maíz de élite con características forrajeras excepcionales para una zona árida mexicana (en línea). Agroecosistemas Tropicales y Subtropicales 16(1). Disponible en <https://doi.org/10.56369/tsaes.1510>
- Maguiña-Maza, RM; Francisco, SC; Pando, GL; Sessarego, E; Chagray, NH; Pujada, HN; Airahuacho, FE. 2021. Potencial agronómico, productivo, nutricional y económico de cuatro genotipos de maíz forrajero en el valle de Chancay, Perú (en línea). Ciencia y Tecnología Agropecuaria 22(3):e1931. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062021000300004
- Manrique, CA. 2015. Evaluación de producción de forraje de cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de suelos salinos del Valle de Ite (en línea). Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Disponible en <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1269>
- Mendes, M; Von, R; Pereira, M; Faria, E; Souza, FA. 2008. Avaliação de híbridos de milho obtidos do cruzamento entre linhagens com diferentes níveis de degradabilidade da matéria seca (en línea). Bragantia 67(2):285-297. Disponible en <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000200004>
- Mendoza-Elos, M; Mosqueda-Villagómez, C; Rangel-Lucio, JA; López-Benítez, A; Rodríguez-Herrera, SA; Latournerie-Moreno, L., et al. 2006. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM (en línea). Agricultura técnica en México 32(1):89-99. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/608/60832109.pdf>
- Núñez-Hernández, G; Contreras, F; Faz, GR. 2012. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 41(1). Disponible en <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1288>
- Palacio, V. 2014. Comparación agronómica de 12 híbridos de maíz de alto potencial forrajero con un testigo regional (en línea). Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4061>
- Paliwal, RL; Granados, G; Lafitte, HR; Violic, AD; Marathée, JP. 2001. El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción (en línea). FAO. Disponible en <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s00.htm>
- Ponce-Encinas, MC; López-Morales, F; Chura-Chuquija, J; Hernández-Leal, E; Hernández-Salinas, G; Aragón-García, A. 2022. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento en híbridos de maíz amarillo mediante AMMI

- y SREG (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 13(7):1247-1258. Disponible en <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3070>
- Reynoso, CA; González, A; Pérez, DJ; Franco, O; Torres, JL; Velázquez, GA.; Betron, C; Balbuena, A; Mercado, O. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(5):871-882. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263131167012.pdf>
- Salas, L; Fernández, JN. 2019. Evaluación del comportamiento de ocho híbridos de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), en el Centro Poblado de Yatún-Cutervo, Cajamarca y la localidad de Lambayeque, parte baja del Valle Chancay (en línea). Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12893/9608>
- Tanaka, A; Yamaguchi, J. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 120 p.
- Tinoco, CA; Ramírez, A; Villarreal, E; Ruiz, A. 2008. Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento (en línea). Agricultura técnica en México 34(3):271-278. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60811116001>
- Tucuch-Cauich, CA; Rodríguez-Herrera, SA; Reyes-Valdés, MH; Pat-Fernández, JM; Tucuch-Cauich, FM; Córdova-Orellana, HS. 2011. Índices de selección para producción de maíz forrajero (en línea). Agronomía Mesoamericana 22(1):123-132. Disponible en <http://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v22n1/a15v22n1.pdf>
- Vega, AG. 2024. Rendimiento y contenido proteico en cultivares de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en condiciones edafoclimáticas de Canchán – Huánuco (en línea). Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.13080/11866>
- Verde, J; Santolalla, S. 2021. Adaptación de 30 híbridos dobles de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en el rendimiento de biomasa y de grano seco (en línea). Revista Investigación Agrariab 3(1):49-58. Disponible en <https://doi.org/10.47840/RelnA.3.1.1045>
- Wilhelm, WW; Ruwe, K; Schlemmer, MR. 2000. Comparación de tres medidores de índice de área foliar en un dosel de maíz (en línea). Crop Science, Society of America 40:1179-1183. Disponible en <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4041179x>
- Yescas, CP; Segura, CMA; Martínez, CL; Álvarez, RVP; Montemayor, TJA; Orozco, VJA. 2015. Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas (en línea). Phytón (Buenos Aires) 84(2):272-279. Disponible en https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572015000200003
- Zou, H; Li, D; Ren, K; Liu, L; Zhang, W; Duan, Y; Lu, C. 2024. Response of maize yield and nitrogen recovery efficiency to nitrogen fertilizer application in field with various soil fertility (en línea). Frontiers in Plant Science 15,1349180. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1349180>
- Artículo recibido en: 10 de agosto del 2025
Aceptado en: 01 de diciembre del 2025