

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA DE CULTIVARES DE MAÍZ EN EL TRÓPICO SECO

Percy Díaz-Chuquizuta¹, Luz M. Durand-Chávez¹, Teófilo W. Jara-Calvo²
y Ofelia A. Valdés-Rodríguez³

RESUMEN

La escasez de pastos y forrajes en el trópico seco durante el verano afecta la productividad ganadera. El maíz (*Zea mays* L.) se presenta como una alternativa estratégica en trópico seco por su eficiencia fotosintética C4 que le permite tener altos rendimientos de biomasa. Se determinó el potencial forrajero de tres variedades y cuatro híbridos de maíz en condiciones de trópico seco. El estudio se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar. Se evaluaron las características morfológicas, rendimiento de forraje verde, materia seca y contenido de proteína cruda de siete cultivares a una densidad de siembra de 83 333 plantas · ha⁻¹. Los resultados indicaron que la variedad Marginal 28-T presentó el mayor rendimiento de forraje verde (51,99 t·ha⁻¹), el híbrido INIA 624 - KILLU SUK destacó en producción de materia seca (15,22 t·ha⁻¹), material clave que se utilizará para la conservación y almacenamiento del forraje, y el INIA 610 - Nutrimaiz sobresalió con el mayor contenido de proteína cruda (10,5 %). Se concluye que los cultivares Marginal 28-T, INIA 624 - KILLU SUK e INIA 610 - Nutrimaiz se vislumbran como alternativas estratégicas por tener potencial para suplir la escasez de forraje en condiciones de trópico seco.

Palabras clave adicionales: Maíz forrajero, materia seca, proteína cruda, rendimiento de forraje, sostenibilidad

ABSTRACT

Forage productivity of corn cultivars in the dry tropic

The shortage of pastures and forages in the dry tropics during the summer affects livestock productivity. Maize (*Zea mays* L.) emerges as a viable option due to its biomass production. The objective of this research was to determine the forage potential of three varieties and four hybrids of maize under dry tropical conditions. The study was conducted using a randomized complete block design. Morphological characteristics, green forage yield, dry matter, and crude protein content of seven cultivars were evaluated at a planting density of 83,333 plants·ha⁻¹. The results indicated that the variety Marginal 28-T exhibited the highest green forage yield (51.99 t·ha⁻¹), the hybrid INIA 624 -KILLU SUK stood out in dry matter production (15.22 t·ha⁻¹), a key material for forage conservation and storage, and INIA 610 - Nutrimaiz excelled with the highest crude protein content (10.5%). It is concluded that the cultivars Marginal 28-T, INIA 624 - KILLU SUK, and INIA 610 - Nutrimaiz represent strategic alternatives due to their potential to alleviate forage shortages in dry tropical regions.

Additional keywords: Crude protein, dry matter, forage corn, forage yield, sustainability

Editor Asociado: Dra. Georgina Vargas-Simón

INTRODUCCIÓN

En Perú, la producción forrajera enfrenta desafíos como la variabilidad climática y las sequías prolongadas, especialmente en el trópico seco, ocasionando estrés por calor en especies de pasto clave como *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) y el pasto de corte *Pennisetum purpureum* Schum, disminuyendo el rendimiento

entre 30 y 60 % (Tapia *et al.*, 2019; Núñez *et al.*, 2022), incrementando el contenido de materia seca y de fibra, pero bajando la proporción de proteína (De Dios *et al.*, 2022; Lucero *et al.*, 2023). Ante este panorama, la escasez de forraje ha incentivado el sobrepastoreo, comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas ganaderos y la productividad del sector (Navas, 2022).

Una solución a esta problemática es el uso de

Recibido: Mayo 14, 2025

Aceptado: Noviembre 5, 2025

¹Estación Experimental Agraria de El Porvenir, Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico, INIA. Juan Guerra, San Martín, Perú. e-mail: pdiazch@inia.gob.pe (autor de correspondencia); ldurand@inia.gob.pe

²Estación Experimental Agraria Andenes. Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Cusco, Perú. e-mail: wjara@inia.gob.pe

³Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto no. 26, Xalapa, Veracruz., México. e-mail: andrea.valdes.colver@gmail.com

cultivos alternativos como el maíz (*Zea mays* L.) cuya versatilidad lo convierte en un recurso estratégico en sistemas agropecuarios (Rivas *et al.*, 2018), además de ser la base de la alimentación en actividades avícolas y porcinas (Chávez *et al.*, 2022). El maíz destaca por su eficiencia fotosintética C4 que le permite obtener altos rendimientos de biomasa forrajera, en condiciones adversas, en cantidades significativas (hasta 45 t·ha⁻¹ de forraje verde y 20 t·ha⁻¹ de materia seca) (Collazos *et al.*, 2019); además de ser muy palatable, digerible y fácil de ensilar debido a sus altos contenidos de azúcar soluble y de energía (Ali *et al.*, 2019; Mendoza *et al.*, 2019; Godina *et al.*, 2020).

Estudios recientes destacan el rendimiento forrajero de diversas variedades e híbridos de maíz. En México se reportaron rendimientos de 41,8 t·ha⁻¹ con densidades de siembra de 83 333 plantas·ha⁻¹ (Sánchez *et al.*, 2019). En Perú, en la provincia de Molinopampa, región Amazonas, evaluaron el rendimiento forrajero de los híbridos PM-213 (62 t·ha⁻¹) y PMX-5 (54,63 t·ha⁻¹), y la variedad Marginal 28-T (51,13 t·ha⁻¹) frente a la variedad sintética forrajera INIA 617-CHUSKA (58 t·ha⁻¹), considerándolas como alternativas para mitigar el sobrepastoreo en esa zona agroclimática (Collazos *et al.*, 2019). Sin embargo, aún no se ha evaluado el potencial forrajero de otros híbridos y variedades de maíz generados por el Programa Nacional de Maíz del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), que tienen buen rendimiento de grano (Díaz *et al.*, 2022a), existiendo un vacío en el conocimiento sobre su desempeño productivo para forraje en trópico seco. Esto permitiría incorporar el atributo forrajero a los maíces para grano, maximizando su utilidad y contribuyendo a mitigar el impacto del sobrepastoreo en estas regiones. Este estudio tuvo como objetivo determinar la productividad forrajera de cuatro híbridos y dos variedades de maíz generados por el Programa Nacional de Maíz del INIA para trópico seco, en comparación con la variedad forrajera INIA 617-CHUSKA de uso actual en las regiones de costa y selva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se realizó en el campo de la Estación Experimental Agraria “El Porvenir” del Instituto Nacional de Innovación

Agraria, situado en el distrito de Juan Guerra, provincia y región de San Martín (6° 35' 35" latitud sur; 76° 19' 21" longitud oeste; 201 msnm) localizado en la zona de vida bosque seco tropical, según Aybar *et al.* (2017). El estudio comprendió los meses de mayo a julio del 2022 en campo, y duró 75 días desde la siembra hasta el corte de las plantas.

Registros edafoclimáticos. El suelo muestreado, a 20 cm de profundidad, analizado siguiendo los métodos establecidos por SEMARNAT (2002) en el laboratorio de suelos del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), presentó las características físicas y químicas del Cuadro 1.

Se registraron los datos de temperatura media, precipitación y humedad relativa de la Estación automática local del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica (SENAMHI). Durante ese periodo la precipitación acumulada fue de 146,1 mm, la temperatura media de 25,8 °C y la humedad relativa de 81,4 %. En la Figura 1 se aprecian las variaciones de los parámetros climáticos.

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo.

Propiedad	Valor
Textura	Arcillosa
pH	6,57
Conductividad eléctrica	0,14 dS·m ⁻¹
Materia orgánica	2,27 %
Fósforo disponible	1,96 mg·kg ⁻¹
Potasio	1,19 cmol·kg ⁻¹

Material vegetal. Se utilizaron semillas de siete cultivares de maíz desarrollados por el Programa Nacional de Maíz del INIA a partir de poblaciones provistas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Manejo de parcelas. Se comenzó con la mecanización del terreno, empleando dos horas de tractor con arado y una hora adicional con surcador calibrado a 0,80 m para facilitar el riego por gravedad. La siembra manual se realizó el 6 de mayo de 2021. Antes de la siembra, las semillas fueron tratadas con tiodicarb + imidacloprid (15 mL·kg⁻¹ de semilla) para minimizar las pérdidas causadas por *Spodoptera*

frugiperda (J. E. Smith) “Cogollero”. Se sembraron dos semillas por punto a una densidad de 83 333 plantas·ha⁻¹, con una distancia entre

plantas de 0,15 m. A los 15 días, se realizó un raleo dejando una planta por punto de siembra.

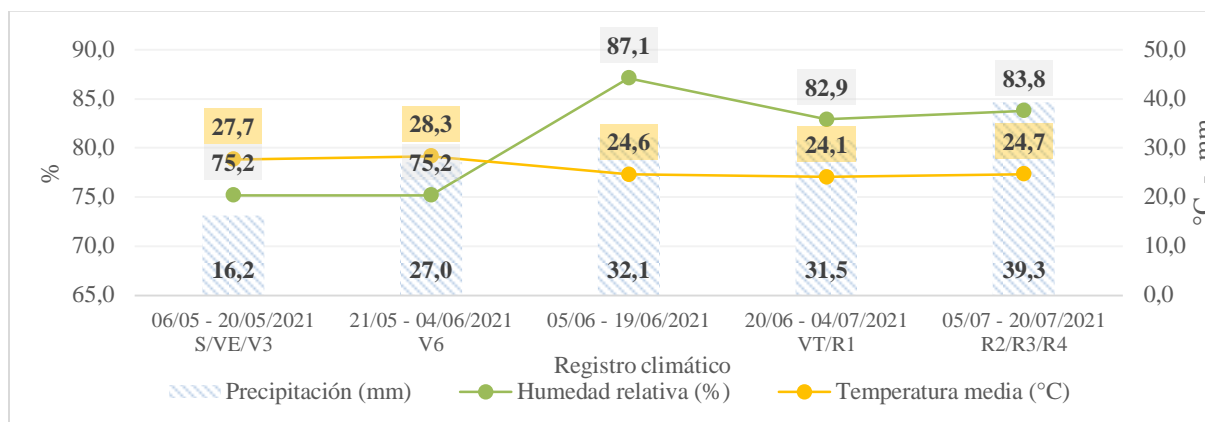


Figura 1. Comportamiento de las condiciones climáticas durante la ejecución de la investigación. Etapas fenológicas: S: Siembra; VE: Emergencia plántula; V3: tres hojas verdaderas; V6: Seis hojas verdaderas; VT: Aparición de panoja; R1: Aparición de estigmas; R2: grano acuoso; R3: Grano lechoso y R4: Grano pastoso.

Cuadro 2. Cultivares de maíz utilizados para determinar su potencial forrajero.

Cultivar	Variedad / híbrido	Color del grano
Marginal 28-T	Variedad de polinización libre	Amarillo naranja
INIA 610–Nutrimaiz	Variedad de polinización libre	Blanco
INIA 617–CHUSKA	Variedad sintética forrajera	Amarillo naranja
INIA 608–ALLIMASARA	Híbrido intervartietal	Amarillo naranja
INIA 624–KILLU SUK	Híbrido triple	Amarillo naranja
HSE 1	Híbrido simple	Naranja
HTE 4	Híbrido triple	Amarillo naranja

Con base en los resultados del análisis de suelo, se emplearon 180-150-120 kg·ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O. La primera fertilización se realizó entre los estados de crecimiento V3 y V4, incorporando el 40 % del N total (0,14 kg·planta⁻¹ de urea) y todo el P₂O₅ (0,12 kg·planta⁻¹ de fosfato diamónico). La segunda fertilización, fue entre los estados V6 y V8, aplicando el 60 % del N restante (0,21 kg·planta⁻¹ de urea).

El riego fue por gravedad en cuatro ocasiones, procurando cubrir el requerimiento hídrico de 502 mm para asegurar el llenado de los granos (Díaz *et al.*, 2022b). El control de malezas combinó métodos manuales con una aplicación de Nicosulfurón (50 mL·20 L⁻¹). Finalmente, el

corte de las plantas se realizó a nivel del suelo a 75 días después de la siembra (20 de julio de 2021).

Evaluaciones morfológicas. Se registraron los días de floración masculina (DFM) y femenina (DFF), cuando el 50 % de las plantas observadas de cada unidad experimental alcanzaron el estado VT (aparición de panoja) y R1 (cuando los estigmas estaban visibles). Se seleccionaron 10 plantas al azar por unidad experimental y se registró la altura de la planta (AP), altura de mazorca (AMz), longitud de hojas (LH) y ancho de hoja (AH) midiendo con flexómetro de 8 m, tipo 1, con 1 mm de precisión. Se estimó el área foliar (AF) en cm² considerando el largo de hoja (cm) × ancho de hoja (cm) × 0,75, factor de

corrección que se le sustrae al área $L \times A$, por no ser un cuadrilátero perfecto (Rodríguez *et al.*, 2021); el número de hojas por planta (NH) se registró mediante conteo visual y el diámetro del tallo (DT) se midió con vernier digital, precisión de 0,01 mm, en el tercer entrenudo por debajo de la mazorca principal.

Evaluaciones de rendimiento forrajero. Se registró el peso de forraje verde usando una balanza tipo reloj, con 0,10 kg de precisión, para obtener el rendimiento de forraje verde (RFV) en $t \cdot ha^{-1}$ corrigiendo las fallas por pérdida de plantas por parcela con base en la fórmula (Díaz *et al.*, 2022b), que se representa en las ecuaciones 1 y 2:

$$RFV (t \cdot ha^{-1}) = \frac{10000 m^2}{A m^2} \times PCC \times 1000 (1)$$

Donde: $10000 m^2$ = Área de una hectárea; RFV = Rendimiento de forraje verde por hectárea; $A m^2$ = Área cortada del forraje verde en m^2 ; 1000 = (factor de conversión de kg a t),

$$PCC = [(PI - (0,3 \times PI)/PCP) + 0,3] \times PC \quad (2)$$

Donde: PCC = peso de forraje verde en campo corregido (kg); PI = número de golpes por parcela; PCP = plantas cosechadas por parcela; 0,3 = factor de corrección de fallas por pérdida de plantas por parcela; PC = peso de forraje verde en campo (kg).

Al laboratorio se llevaron las 10 plantas seleccionadas en campo para obtener el peso de mazorca, peso de hojas y peso de tallos con una de balanza digital (precisión de 0,01 g). Se cortaron en fracciones de aproximadamente 2 cm y se secaron en estufa ($65^\circ C$ por 96 horas) hasta peso seco constante para obtener el porcentaje de materia seca y calcular el rendimiento por hectárea ($MS \cdot ha^{-1}$) que se representa en la fórmula 3. Por último, con los pesos secos de cada fracción (hoja, tallo y mazorca), se calculó la relación hoja-planta (H/P), tallo-planta (T/P) y mazorca-planta (Mz/P).

$$MS (t \cdot ha^{-1}) = \frac{\% MS \times RFV}{100} \quad (3)$$

Donde MS = rendimiento de materia seca; %MS = contenido de materia seca; RFV = rendimiento de forraje verde.

Evaluación del contenido de proteína. El porcentaje de proteína cruda se determinó mediante el método de Microkjeldhal (Velasco *et al.*, 2022) multiplicando el valor del nitrógeno total por el factor 6,25.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 7 tratamientos (6 cultivares de maíz y el INIA 617-CHUSKA, como el testigo comparativo), con tres repeticiones. Las unidades experimentales estaban conformadas por cuatro surcos de 6 m de largo, cada hilera con 41 puntos de siembra.

Análisis estadístico. Se comprobó la normalidad de los datos (prueba de Shapiro-Wilks) y homogeneidad de la varianza (prueba de Levene). Posteriormente, se realizó el análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0,05$), para finalizar con una correlación lineal (Pearson) entre las variables morfológicas y productivas. El análisis estadístico se hizo mediante el programa estadístico Rstudio Team (2024) v. 4.3.1 y la librería Agricolae (de Mendiburu, 2021).

RESULTADOS

Características morfológicas de los cultivares de maíz. Las evaluaciones revelaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en todos los parámetros, con baja variabilidad (Cuadro 3). En la prueba de medias se hallaron diferencias entre cultivares ($p \leq 0,05$) en los días FF y FM. La variedad sintética INIA 617-CHUSKA tardó más en alcanzar la etapa reproductiva (R1), mientras que los híbridos HTE 4 y HSE 1 lo hicieron en menor tiempo, con diferencias de 3 y 2 días en floración femenina y masculina, respectivamente. El INIA 617-CHUSKA presentó los mayores valores en altura de planta y mazorca, ancho de hoja, área foliar y diámetro de tallo. Superó en AP al INIA 610-Nutrimaiz por 29 cm y en AMz al INIA 608-ALLIMASARA por 35 cm. Sin embargo, fue superado en número de hojas por el Híbrido HSE 1 y en largo de hoja por INIA 624-KILLU SUK, que tuvo 10,50 cm más de longitud que INIA 610-Nutrimaiz.

Productividad forrajera de los cultivares de maíz. Los resultados de las evaluaciones de rendimiento de forraje muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$), en todos los indicadores (Cuadro 4). Esto sugiere que algunos cultivares de maíz presentan un mayor rendimiento forrajero, siendo relevante para la selección del mejor cultivar para condiciones de trópico seco.

La variedad de polinización libre Marginal 28-T destacó por su alto rendimiento de forraje verde (RFV). Aunque INIA 617-CHUSKA e INIA 610-

Nutrimaiz presentaron más del 31 % de materia seca (MS%), no alcanzaron el mayor rendimiento en toneladas por hectárea de materia seca. El INIA 624-KILLU SUK superó las 50 t·ha⁻¹ de RFV, con más del 30 % de MS% y un rendimiento de

materia seca superior a 15 t·ha⁻¹, superando en 1 t·ha⁻¹ a INIA 617-CHUSKA y en 2,35 t·ha⁻¹ a INIA 608-ALLIMASARA, que tuvo el menor rendimiento de materia seca (Figura 2).

Cuadro 3. Características morfológicas de variedades e híbridos de maíz duro evaluados en condiciones de trópico seco

Cultivares	FF (días)	FM (días)	AP (cm)	AMz (cm)	NH	LH (cm)	AH (cm)	AF (cm ²)	ØT (mm)
HSE 1	58,50 ^c	56,25 ^d	206,00 ^{cd}	104,50 ^d	14,75 ^{±a}	98,00 ^c	8,15 ^c	598,88 ^{cd}	22,23 ^a
HTE 4	58,50 ^c	56,50 ^{cd}	205,25 ^{cd}	105,00 ^d	13,75 ^{abc}	98,25 ^c	8,63 ^{bc}	635,64 ^{bc}	22,08 ^{ab}
INIA 608-ALLIMASARA	59,25 ^{bc}	57,50 ^{ab}	197,75 ^d	98,25 ^e	13,00 ^c	88,50 ^c	8,80 ^b	584,10 ^d	20,98 ^c
INIA 610-Nutrimaiz	60,25 ^b	57,75 ^{ab}	211,00 ^c	99,50 ^e	13,00 ^c	93,50 ^d	8,60 ^{bc}	603,11 ^{cd}	21,18 ^c
INIA 617-CHUSKA	61,75 ^a	58,25 ^a	240,00 ^a	133,25 ^a	14,25 ^{ab}	101,00 ^b	9,63 ^a	728,98 ^a	22,30 ^a
INIA 624-KILLU SUK	59,25 ^{bc}	57,50 ^{ab}	204,00 ^{cd}	109,00 ^c	13,25 ^{bc}	104,00 ^a	8,63 ^{bc}	672,71 ^b	21,73 ^b
Marginal 28-T	59,50 ^{bc}	57,25 ^{bc}	224,75 ^b	117,25 ^b	13,75 ^{abc}	94,00 ^d	8,33 ^{bc}	586,99 ^d	19,83 ^d
Media	59,57	57,29	212,69	109,54	13,68	96,75	8,68	630,06	21,48
CV (%)	0,73	0,66	2,09	1,45	3,16	1,08	2,53	2,84	0,93
<i>p</i> -valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Shapiro Wilks	0,151	0,158	0,559	0,600	0,582	0,826	0,603	0,087	0,451
Levene	0,141	0,094	0,089	0,071	0,284	0,071	0,501	0,248	0,056

Medias con letras distintas son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

HSE: Híbrido simple experimental; HTE: Híbrido triple experimental; CV: Coeficiente de variación; FF: floración femenina; FM: floración masculina; AP: Altura de planta; AMz: Altura de mazorca; NH: Número de hoja; LH: Largo de hoja; AH: Ancho de hoja; AF: Área foliar; ØT: Diámetro de tallo.

Cuadro 4. Pruebas y parámetros estadísticos de los indicadores de rendimiento de forraje de los cultivares de maíz en condiciones de trópico seco.

Cultivares	RFV (t·ha ⁻¹)	MS %	MS(t·ha ⁻¹)	H/Pl	T/Pl	Mz/Pl
Shapiro Wilks	0,652	0,057	0,363	0,678	0,594	0,951
Levene	0,128	0,063	0,486	0,391	0,459	0,433
<i>P</i> -valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	2,30	2,11	3,15	3,96	2,36	2,24
Media	47,06	29,82	14,00	0,16	0,34	0,49

CV: Coeficiente de variabilidad; RFV: Rendimiento de forraje verde; MS: Materia seca; PST: Peso seco de tallo; PSH: Peso seco de hoja; PSMz: Peso seco de mazorca; H/Pl: relación hoja – planta; T/Pl: relación tallo-planta; Mz/Pl: relación mazorca-planta.

Los resultados en la Figura 3, muestran la existencia de variaciones significativas entre los cultivares de maíz ($p \leq 0,05$). Los índices de relación productiva entre el peso seco de los componentes estructurales, hoja, tallo y mazorca, con respecto al peso seco total de la planta de

maíz, reflejan el potencial forrajero de cada uno al ser cortados a los 75 días después de la siembra. El INIA 608-ALLIMASARA, el INIA 624-KILLU SUK y el HSE 1, durante ese tiempo, lograron concentrar más del 50 % de su peso seco en la mazorca. Mientras que el INIA 617-

CHUSKA concentró más materia seca en hoja y tallo, con respecto al peso seco de la planta a

diferencia de los demás cultivares.

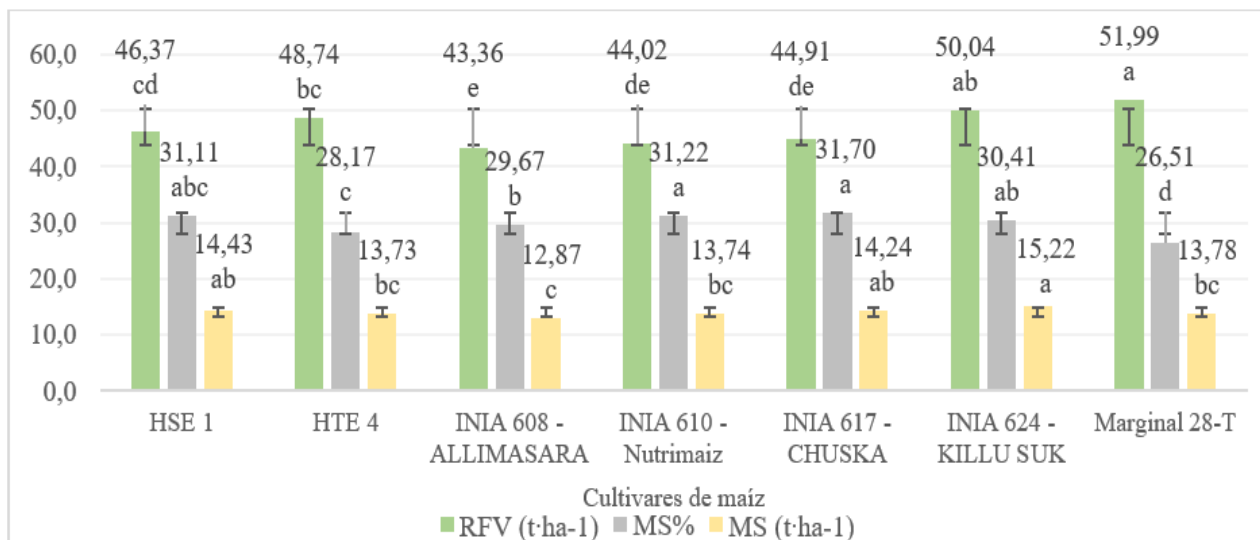


Figura 2. Rendimiento de forraje verde (RFV), contenido de materia seca (MS%) y rendimiento de materia seca (MS) de siete cultivares de maíz bajo condiciones trópico seco. Medias con letras distintas son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Contenido de proteína en los cultivares de maíz. Los resultados (Cuadro 5) indican diferencias en los contenidos de proteína cruda entre las partes analizadas (mazorca, tallo y hoja) y la planta completa de los cultivares de maíz ($p \leq 0,05$). Esto sugiere que existen variaciones en las concentraciones de proteína en cada componente estructural de acuerdo con cada cultivar de maíz. Los coeficientes de variación (CV) bajos reflejan una variabilidad mínima en los datos, indicando una buena precisión experimental. Por último, los valores del DMS confirman que las diferencias detectadas entre tratamientos son estadísticamente relevantes y permiten discriminar.

Los porcentajes de proteína cruda (%PC) variaron significativamente entre cultivares (Figura 4), con los valores más altos en hojas, seguidos de mazorcas, y el menor contenido en tallos. INIA 610-Nutrimaiz destacó con un %PC superior al 10 % a nivel de planta, gracias a su mayor contenido proteico en el tallo, mientras que los demás cultivares no superaron el 9 %. Aunque INIA 608-ALLIMASARA e INIA 624-KILLU SUK tuvieron mayor %PC en hojas, no alcanzaron el 10 % debido al bajo contenido proteico en el tallo.

Análisis de asociación entre las variables

El análisis de Pearson mostró correlaciones positivas y negativas entre las variables evaluadas en los cultivares de maíz bajo corte forrajero a los 75 días (Figura 5). Se encontraron correlaciones positivas entre altura de planta (AP) y altura de mazorca (AMz), así como entre área foliar (AF) y ancho de hoja (AH). El largo de hoja (LH) contribuyó al rendimiento de materia seca ($t \cdot ha^{-1}$), y el peso seco de la hoja en relación al peso seco total (H/PI) aumentó con AMz debido al mayor crecimiento de la planta.

El contenido de proteína cruda en mazorca (PCMz) se incrementó con la floración femenina, mientras que la proteína en hoja (PCH) se asoció con la relación del peso seco de mazorca respecto al total de la planta (Mz/PI). Además, el contenido promedio de proteína cruda (PC Planta) se relacionó con el rendimiento de forraje verde cortado a los 75 días, indicando que las plantas con mayor producción forrajera presentaron mayor contenido proteico.

Las correlaciones negativas indicaron que el rendimiento de forraje verde (RFV) disminuyó con el aumento de AMz, sugiriendo menor biomasa en algunas plantas. La relación Mz/PI

mostró una compensación negativa con el peso seco del tallo respecto al total (T/PI), lo que afectó la calidad de la materia seca al aumentar la

proporción de fibra sobre nutrientes. Asimismo, PCH disminuyó con el incremento de AP, AMz, PCMz y FF.

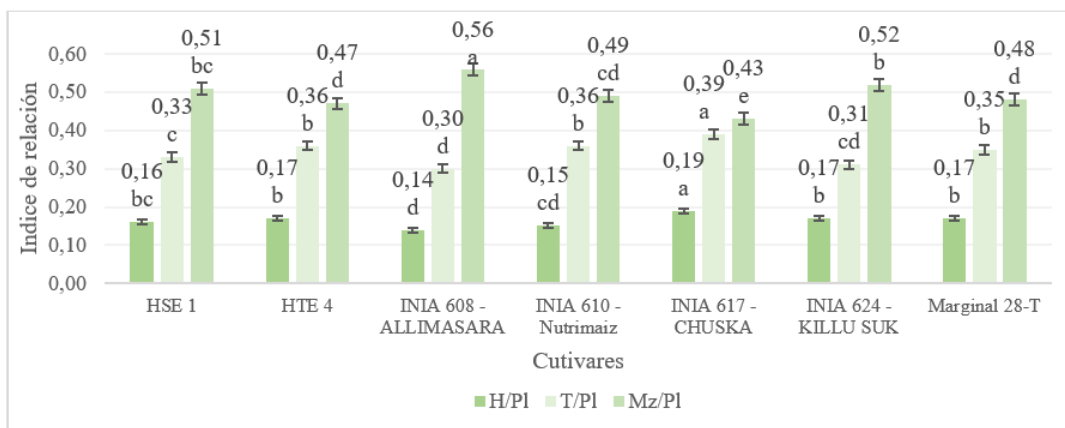


Figura 3. Índices de relación hoja/planta (H/PI), tallo/planta (T/PI) y mazorca/planta (Mz/PI) en siete cultivares de maíz bajo condiciones tropicales. Medias con letras distintas son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Cuadro 5. Pruebas y parámetros estadísticos de los contenidos de proteína en mazorca, tallo y hoja en diferentes cultivares de maíz

Cultivares	PC Mz	PC T	PC H	PC Planta
Shapiro Wilks	0,761	0,320	0,832	0,520
Levene	0,106	0,535	0,112	0,123
P-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Media	9,35	6,96	12,50	9,60
CV (%)	2,62	1,79	2,97	1,47

CV: Coeficiente de variabilidad; PC: Proteína cruda; Mz: Mazorca; T: Tallo; H: Hoja

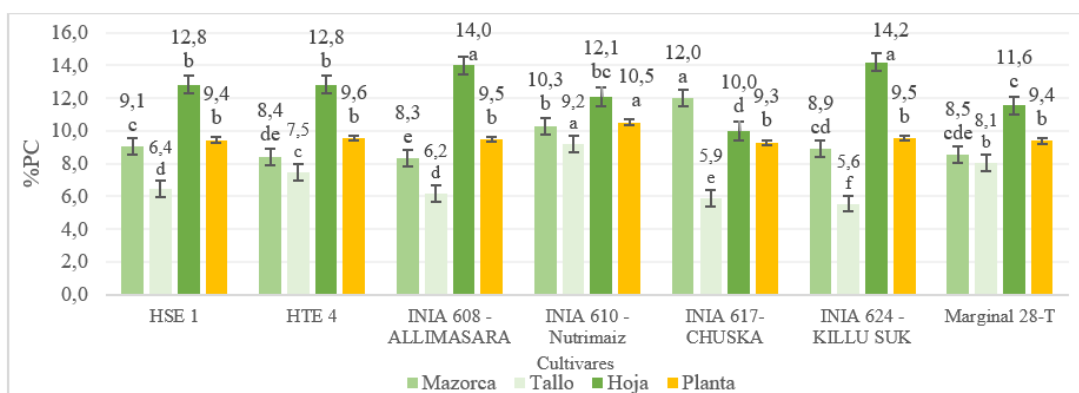


Figura 4. Distribución del contenido de proteína cruda (%PC) en mazorca, tallo, hoja y planta de siete cultivares de maíz. Medias con letras distintas son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

DISCUSIÓN

Características morfológicas de los cultivares de maíz. La precocidad observada en los híbridos y variedades evaluadas permitió alcanzar la etapa R3 (grano lechoso), conocida como 1/3 de línea de leche a R4 (grano pastoso), conocida como 1/2 de línea de leche en el grano a los 75 días del corte en condiciones de trópico seco, estado óptimo para obtener forraje y ensilados en épocas de escasez. Este

comportamiento es ventajoso frente al cultivar INIA 617-CHUSKA, al presentar una floración más tardía; sólo alcanzó el estado R2 (grano acuoso) a R3 (grano lechoso), el menos adecuado para un ensilado (González *et al.*, 2006). La precocidad constituye una estrategia agronómica relevante en trópico seco, permitiendo programar cortes y garantizar la disponibilidad de forraje en épocas críticas sin comprometer su valor nutricional (Mendoza *et al.*, 2019; Robles *et al.*, 2024).

	FF (días)	FM (días)	AP (cm)	AMz (cm)	NH	LH (cm)	AH (cm)	AF (cm ²)	ØT (mm)	RFV (t·ha ⁻¹)	MS (%)	MS (t·ha ⁻¹)	H/PI	T/PI	Mz/PI	PC* Mz	PC* T	PC* H
FM (días)	0,80 **																	
AP (cm)	0,70 **	0,40 *																
AMz (cm)	0,65 **	0,37 *	0,89 **															
NH	0,01 ns	-0,34 ns	0,34 ns	0,41 *														
LH (cm)	0,11 ns	0,01 ns	0,26 ns	0,48 *	0,34 ns													
AH (cm)	0,63 *	0,50 *	0,58 **	0,57 **	-0,09 ns	0,18 ns												
AF (cm ²)	0,50 *	0,35 ns	0,57 **	0,69 **	0,15 ns	0,74 **	0,80 **											
ØT (mm)	0,05 ns	-0,08 ns	-0,02 ns	0,13 ns	0,37 *	0,59 **	0,31 ns	0,57 **										
RFV (t·ha ⁻¹)	-0,07 ns	0,06 ns	-0,30 ns	-0,54 **	-0,48 *	-0,22 ns	-0,34 ns	-0,36 ns	-0,31 ns									
MS (%)	0,41 *	0,25 ns	0,09 ns	0,06 ns	0,12 ns	0,29 ns	0,39 *	0,44 *	0,62 **	0,09 ns								
MS (t·ha ⁻¹)	0,08 ns	-0,01 ns	0,17 ns	0,31 ns	0,22 ns	0,78 **	-0,04 ns	0,48 *	0,38 *	-0,02 ns	0,37 *							
H/PI	0,31 ns	0,05 ns	0,65 **	0,82 **	0,45 *	0,62 **	0,39 **	0,65 **	0,34 ns	-0,49 *	0,002 **	0,43 *						
T/PI	0,55 **	0,26 ns	0,72 **	0,61 **	0,30 ns	0,26 ns	0,33 **	0,39 *	0,17 ns	-0,07 ns	0,01 ns	0,02 ns	0,53 **					
Mz/PI	-0,52 **	-0,20 ns	-0,79 **	-0,76 **	-0,37 *	-0,42 *	-0,40 **	-0,54 **	-0,26 *	0,22 ns	-0,02 ns	-0,19 ns	-0,77 **	-0,94 **				
PC* Mz	0,81 **	0,53 **	0,70 **	0,64 **	0,20 ns	0,32 ns	0,64 **	0,64 **	0,39 *	-0,05 ns	0,62 **	0,19 ns	0,48 *	0,67 **	-0,69 **			
PC* T	-0,02 ns	-0,06 ns	0,03 ns	-0,30 ns	-0,21 ns	-0,45 *	-0,34 ns	-0,50 *	-0,48 *	0,69 **	-0,32 ns	-0,35 ns	-0,30 ns	0,39 *	-0,19 ns	-0,05 ns		
PC* H	-0,66 **	-0,39 **	-0,88 **	-0,76 **	-0,37 *	-0,12 ns	-0,43 **	-0,38 *	-0,05 ns	0,20 ns	-0,07 ns	0,02 ns	-0,60 **	-0,86 **	0,87 **	-0,74 **	-0,24 ns	
PC* Planta	0,07 ns	0,04 ns	-0,25 ns	-0,51 *	-0,43 *	-0,26 ns	-0,17 ns	-0,28 ns	-0,13 ns	0,88 **	0,25 ns	-0,13 ns	-0,50 *	0,10 ns	0,09 ns	0,14 ns	0,69 **	0,13 ns

Figura 5. Matriz de correlación de Pearson ($p \leq 0,05$), donde se muestra la asociación entre las variables evaluadas de los cultivares de maíz con potencial forrajero. ns: no significativo, *: Significancia al 0,05, **: Significancia al 0,01.

Otros atributos a considerarse para un maíz forrajero son tener mayor altura, número de hojas, área foliar y diámetro de tallo, los que se registraron en Marginal 28-T e INIA 617-CHUSKA, y se relacionan con una mayor acumulación de biomasa. Para Collazos *et al.* (2019), el incremento en la altura de planta está asociado con un mayor rendimiento de forraje, aunque también puede aumentar la susceptibilidad al acame en condiciones de estrés hídrico; por su

parte Rodríguez *et al.* (2021) destacaron que un mayor índice de área foliar mejora la eficiencia fotosintética y el contenido de materia seca, lo cual se refleja en el comportamiento del INIA 617-CHUSKA y de Marginal 28-T, que mostraron los valores más altos en estas variables.

Productividad forrajera de los cultivares de maíz. Los rendimientos de forraje verde obtenidos se ubican por encima de lo reportado en otros estudios del trópico seco y semiárido, superando

en $1,56 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, al promedio general y en $2,49 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a la variedad VS-536 mencionada por Sánchez *et al.* (2019), confirmando la importancia de evaluar estos indicadores para seleccionar cultivares adecuados para el trópico seco (Godina *et al.*, 2020). Los altos rendimientos en forraje logrados al corte (75 días después de la siembra), no significan un buen contenido de materia seca. Los porcentajes por debajo del 25 % de materia seca no tendrán un adecuado proceso de fermentación por el alto contenido de agua, mientras que porcentajes mayores a 35 % dificultarían la compactación del material bajo en agua, ocasionando fermentaciones putrefactas de tipo butírico, bajando la calidad del ensilado, siendo que el óptimo esperado en un maíz es de 30 % MS (Zaragoza *et al.*, 2021). En este sentido, el INIA 624 - KILLU SUK, mostró un balance adecuado, combinando altos rendimientos de forraje verde ($>50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) con un porcentaje de materia seca cercano al óptimo (30 %), y con mayor rendimiento de materia seca por hectárea. Otros que se considerarían aceptables son el INIA 610 - Nutrimaiz (de alta proteína) y el INIA 617-CHUSKA, por tener %MS entre los valores mencionados. Por consiguiente, el contenido de materia seca es un factor determinante para la conservación del forraje y su uso en alimentación animal. Estos resultados son comparables a los reportados por Lucero *et al.* (2023) en otros forrajes tropicales como *Pennisetum purpureum* Schum., por lo que estos maíces pueden ser utilizados estratégicamente en períodos de escasez de pasto en trópico seco.

Otro indicador para un buen forraje de maíz es la relación peso seco de la mazorca con respecto al peso seco de la planta total (Mz/Pt), porque esto determina el valor energético (Zaragoza *et al.*, 2019). Los hallazgos de este estudio muestran que los cultivares superan en 42 % a los valores encontrados por Zaragoza *et al.* (2021) con relaciones Mz/Pl de más del 50% (HSE 1, INIA 608, INIA 624), lo que incrementa el valor energético del forraje. Estos resultados son consistentes con estudios que demuestran que cultivares de maduración temprana con mayor índice de relación Mz/Pt están asociados con mejor concentración de carbohidratos solubles y mayor digestibilidad (Liimatainen *et al.*, 2022).

Contenido de proteína en los cultivares de maíz. El contenido de proteína cruda (PC%) varió

entre cultivares y órganos de la planta. En este estudio al cortar la planta a los 75 días después de la siembra, el INIA 610 - Nutrimaiz obtuvo el porcentaje de proteína cruda a nivel de planta más alta ($>10 \%$), siendo superior a lo reportado para híbridos comerciales (7–9%) por Velasco *et al.* (2022) en híbridos de maíz forrajero de Valles Altos. Otro aspecto importante es el estado fenológico en el momento del corte porque al hacerlo en un estado avanzado cercano al madurez, el contenido de proteína es menor (Robles *et al.*, 2024).

Las diferencias en la distribución de proteínas en la planta también son relevantes. En este estudio, a los 75 días después de la siembra, el INIA 608-ALLIMASARA e INIA 624-KILLU SUK tuvieron mayor contenido de proteína en la hoja, mientras que el INIA 617-CHUSKA presentó mayor contenido de PC en mazorca, siendo un componente importante, donde se concentra la proteína y es mejor la digestibilidad, logrando un forraje de mayor valor nutricional y, por ende, una mejor contribución al incrementar la producción animal (Godina *et al.*, 2020). Bajo estos hallazgos, se considera que existen cultivares que responden de diferente manera al ser cortados a los 75 días después de la siembra, por lo tanto cada cultivar tiene que ser utilizado en su momento de mayor rendimiento de forraje verde, contenido de materia seca y de proteína (Maguiña *et al.*, 2021) y que estén equilibrados en toda la planta.

Estos hallazgos resaltan que la calidad proteica no depende sólo del valor promedio a nivel de planta, sino de cómo se distribuye el nitrógeno en los distintos tejidos; esto refuerza la importancia de seleccionar cultivares no sólo por su rendimiento en biomasa, se debe considerar su perfil y distribución nutricional. La fertilización nitrogenada constituye un factor clave para potenciar estos atributos porque incrementan simultáneamente biomasa y proteína (Gaviláñez y Gómez, 2022; Liimatainen *et al.*, 2022).

Correlaciones entre las variables. Las correlaciones positivas entre las variables morfológicas (AP, AMz, AF y AH) confirman que el desarrollo morfológico contribuye a una mayor acumulación de biomasa, coincidiendo con Guamán *et al.* (2020) y Vásquez *et al.* (2024). Este hallazgo resalta la importancia de seleccionar cultivares con una altura óptima para mejorar el

rendimiento y la calidad del forraje. Asimismo, la relación entre rendimiento de materia seca ($t \cdot ha^{-1}$) y longitud de hoja (LH) sugiere que un mayor tamaño foliar incrementa la eficiencia fotosintética y la acumulación de biomasa (Guamán *et al.*, 2020). Sin embargo, la correlación negativa entre altura de mazorca (AMz) y rendimiento de forraje verde (RFV) evidencia que una mayor altura no garantiza mayor producción, lo que contrasta con hallazgos previos (Tucuch *et al.*, 2011; Vásquez *et al.*, 2024). Esto se atribuye a que el INIA 617-CHUSKA, a pesar de su mayor AMz (133,25 cm), presentó un bajo RFV ($44,91 t \cdot ha^{-1}$) debido a su ciclo tardío (estado R2-R3 a los 75 días), no llegando a producir mayor biomasa.

En cuanto a la calidad nutricional, la valoración negativa entre la relación mazorca/planta (Mz/Pl) y el contenido de proteína cruda en hoja (PC[°]H) indica que un mayor peso seco de la mazorca puede comprometer la calidad proteica en las hojas por la redistribución de nutrientes hacia órganos reproductivos (Vásquez *et al.*, 2021). Por su parte, la relación positiva entre proteína cruda promedio (PC Media) y rendimiento de forraje verde (RFV) sugiere que cultivares con mayor productividad forrajera pueden ofrecer mejor calidad nutricional, porque la biomasa se distribuye en las distintas fracciones (tallos, hoja y mazorca) (Vásquez *et al.*, 2021).

Estos hallazgos resaltan la estrecha interdependencia entre características morfológicas, rendimiento de forraje verde, contenido y rendimiento de materia seca, y contenido de proteína. Por ello es esencial considerar estas relaciones para optimizar la selección de genotipos forrajeros debido a que las diferencias entre ellas también obedecen a la constitución genética; porque unas son variedades de polinización libre (MARGINAL 28-T e INIA 610-Nutrimaiz), otra variedad sintética (INIA 617-CHUSKA), otras híbrido simple (HSE 1), triples (INIA 624-KILLU SUK y HTE 4) e intervarietal (INIA 608-ALLIMASARA). Además, es fundamental profundizar en cómo las condiciones ambientales y las prácticas de manejo influyen en estas relaciones para mejorar las recomendaciones agronómicas en diferentes contextos.

Desde el punto de vista práctico, los resultados evidencian que los cultivares Marginal 28-T, INIA 610-Nutrimaiz e INIA 624-KILLU SUK ofrecen

una combinación equilibrada entre rendimiento de biomasa, contenido de MS y proteína, constituyéndose en opciones estratégicas para enfrentar la escasez forrajera en el trópico seco. Además, la diversificación genética de híbridos y variedades puede incrementar la resiliencia frente a variabilidad climática (Navas, 2022; Robles *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

Los resultados confirman que el maíz es una alternativa estratégica para la producción forrajera en condiciones de trópico seco del Perú. Las variedades Marginal 28-T e INIA 610-Nutrimaiz, junto con el híbrido INIA 624-KILLU SUK, destacaron por su mayor producción de forraje verde, así como por un adecuado contenido de materia seca y proteína, superiores al promedio. Estos cultivares se perfilan como alternativas forrajeras de alto potencial en el trópico seco en comparación con la variedad forrajera INIA 617-CHUSKA, por lo que se recomienda priorizarlos en esquemas diversificados de producción forrajera.

LITERATURA CITADA

1. Ali, W., M. Nadeem, W. Ashiq, M. Zaeem, R. Thomas, V. Kavanagh *et al.* 2019. Forage Yield and Quality Indices of Silage-Corn Following Organic and Inorganic Phosphorus Amendments in Podzol Soil under Boreal Climate. *Agronomy* 9(9): e489.
2. Aybar-Camacho, C., W. Lavado-Casimiro, E. Sabino, S. Ramírez, J. Huerta y O. Felipe-Obando. 2017. Atlas de zonas de vida del Perú-Guía Explicativa. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología, Lima. 30 p.
3. Chávez, A., L.A. Narro, T.W. Jara, T.P. Narro, A.E. Medina, I. Cieza *et al.* 2022. Tecnologías disponibles para incrementar la producción de maíz en Perú. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* 14(1): 31.
4. Collazos, R., J.C. Neri, E. Huamán y L.D.P. Juárez. 2019. Cultivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en el distrito de Molinopampa-Chachapoyas-Amazonas. *Revista de*

- Investigación de Agroproducción Sustentable 2(3): 23-29.
5. De Dios-León, G.E., J.A. Ramos-Juárez, F. Izquierdo-Reyes, B.M. Joaquín-Torres y F. Meléndez-Nava. 2022. Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 13(4): 1055-1066.
 6. Díaz-Chuquizuta, P., E. Hidalgo-Melendez, M. Mendoza-Paredes, I. Cieza-Ruiz, T.W. Jara-Calvo y O.A. Valdés-Rodríguez. 2022a. Nuevo híbrido trilineal de maíz amarillo duro para el trópico peruano. *Agronomía Mesoamericana* 34(1): 51177.
 7. Díaz-Chuquizuta, P., E. Hidalgo, M. Mendoza y T. Jara. 2022b. Guía técnica para el manejo del cultivo de maíz amarillo duro en la selva. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lima. 84 p.
 8. de Mendiburu, F. 2021. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 155 p.
 9. Gavilánez-Luna, F.C. y M.J. Gómez-Vargas. 2022. Definición de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio para una máxima producción del maíz híbrido Advanta 9313 mediante el diseño central compuesto. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 23(1): e2225.
 10. Godina, J.E., J.R. Garay, S.I. Mendoza, S. Joaquín y M. Rocandio. 2020. Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (24): 59-68.
 11. González-Castañeda, F., A. Peña-Ramos y G. Núñez-Hernández. 2006. Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnica Mexicana* 29(2Esp): 103-107.
 12. Guamán, R.N., T.X. Desiderio, Á.F. Villavicencio, S.M. Ulloa y E.J. Romero. 2020. Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra* 7(2): 47-56.
 13. Liimatainen, A., A. Sairanen, S. Jaakkola, T. Kokkonen, K. Kuoppala, T. Jokiniemi *et al.* 2022. Yield, Quality and Nitrogen Use of Forage Maize under Different Nitrogen Application Rates in Two Boreal Locations. *Agronomy* 12(4): e887.
 14. Lucero, J., G. Gómez, R. Guamán, Á. Villavicencio, S. Ulloa y E.J. Romero. 2023. Tiempos de descanso de *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* mediante tres tipos de corte. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 34(5): e24237.
 15. Maguiña-Maza, R.M., S.C. Francisco, G.L. Pando, E. Sessarego, N.H. Chagray, H.N. Pujada *et al.* 2021. Potencial agronómico, productivo, nutricional y económico de cuatro genotipos de maíz forrajero en el valle de Chancay, Perú. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 22(3): e1931.
 16. Mendoza-Pedroza, S.I., M.A. Rivas-Jacobo, A. Carballo-Carballo y A.R. Quero-Carrillo. 2019. Productividad y caracteres morfológicos de híbridos de maíz forrajero. *Agro Productividad* 12(8): 59-65.
 17. Navas, A. 2022. Percepciones de pequeños productores sobre cambios en el clima y su efecto en sistemas de producción de leche. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 33(2): e20543.
 18. Núñez-Arroyo, J.M., J.P. Jiménez-Castro, C.M. Tobía-Rivero, L.M. Arias-Gamboa, E. Jiménez-Alfaro y J.E. Padilla-Fallas. 2022. Efecto de la edad de rebrote y época del año sobre la biomasa y calidad bromatológica en gramíneas utilizadas en tres zonas agroclimáticas de Costa Rica (I PARTE). *Nutrición Animal Tropical* 16(1): 31-52.
 19. Rivas, M.A., A. Carballo, A.R. Quero, A. Hernández, H. Vaquera, E.C. Rivas *et al.* 2018. Comportamiento productivo de doce híbridos trilineales de maíz para forraje en una región tropical seca. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 21(3): 579-586.
 20. Robles, L.E., J. Osorio, O.A. Castelan, J.C. Angeles y M. Gonzalez. 2024. Forage yield, chemical composition and potential milk yield using maize silage from Asia, Europe, north and south American continents: a

- systematic review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 27(3): e113.
21. Rodríguez-Montalvo, F.A., M. Sierra-Macías, A. Espinosa-Calderón, M.V. Vázquez-Hernández, S. Barrón-Freyre, P. Andrés-Meza *et al.* 2021. Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización. *Revista Terra Latinoamericana* 39: 1-12. e676.
 22. RStudio Team., 2024. RStudio: Desarrollo integrado para R. RStudio, PBC, Boston, MA.
 23. Sánchez, M.A., M. Cruz, C. Sánchez, G. Morales, M.A. Rivas y C. Villanueva. 2019. Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(3): 699-712.
 24. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial la Federación. México. 73 p.
 25. Tapia, J.J., L.M. Atencio, S.L. Mejía, Y. Paternina y J. Cadena. 2019. Evaluación del potencial productivo de nuevas gramíneas forrajeras para las sabanas secas del Caribe en Colombia. *Agronomía Costarricense* 43(2): 45-60.
 26. Tucuch-Cauich, C.A., S.A. Rodríguez-Herrera, M.H. Reyes-Valdés, J.M. Pat-Fernández, F.M. Tucuch-Cauich y H.S. Córdova-Orellana. 2011. Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 22(1): 123-132.
 27. Vásconez, G.H., L.A. Caicedo, D.V. Véliz y F.D. Sánchez. 2021. Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales* 27(3Esp): 417-428.
 28. Vásquez, H.V., C.N. Vigo, D. Saravia, L. Valqui y L.G. Bobadilla. 2024. Agronomic performance of forage corn for cattle feeding in Amazonas, Peru. *Heliyon* 10(9): e30790.
 29. Velasco, S., Tadeo, M., Espinosa, A., Zaragoza, J., Canales, E. y Coutiño, B. 2022. Rendimiento de grano, forraje y calidad forrajera de nuevos híbridos de maíz de Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(1): 77-87.
 30. Zaragoza-Esparza, J., M.F. Medina-Fernández, M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, C. López-López, E. Canales-Islas *et al.* 2021. Productividad y calidad de forraje de híbridos trilineales de maíz para Valles Altos de México. *Revista Fitotecnía Mexicana* 44(4): 537-544.
 31. Zaragoza-Esparza, J., M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, C. López-López, J.C. García-Espinosa, B. Zamudio-González *et al.* 2019. Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México: Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(1): 101-111.