



Nuevo híbrido trilineal de maíz amarillo duro para el trópico peruano¹

New thilinear hybrid of hard yellow corn for the Peruvian tropic

Percy Díaz-Chuquizuta², Edison Hidalgo-Melendez², Melbin Mendoza-Paredes², Isaac Cieza-Ruiz³,
Teófilo Wladimir Jara-Calvo⁴, Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez⁵

- ¹ Recepción: 31 de mayo, 2022. Aceptación: 29 de julio, 2022. Este trabajo formó parte del proyecto de investigación “Desarrollo y adopción de cultivares de maíz amarillo duro con alta productividad y estabilidad para condiciones de selva” del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
- ² Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Estación Experimental Agraria El Porvenir. Jr. Martínez de Compañón 1035, Tarapoto, San Martín, Perú. pdiaz023@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9893-5482>); ehidalgo@inia.gob.pe (<https://orcid.org/0000-0003-4345-6668>); mmendoza@inia.gob.pe (<https://orcid.org/0000-0002-3513-6552>).
- ³ Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Estación Experimental Agraria Vista Florida. km 8 Carretera Chiclayo a Ferreñafe km 8 Pícsi, Chiclayo, Lambayeque, Perú. icieza@inia.gob.pe (<https://orcid.org/0000-0002-3990-3966>).
- ⁴ Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Estación Experimental Agraria Andenes. Av. Micaela Bastidas N°314, Cusco, Cusco, Perú. wjara@inia.gob.pe (<https://orcid.org/0000-0001-9288-7769>).
- ⁵ Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto no. 26, Xalapa, Veracruz, México. dra.valdes.colver@gmail.com (autora para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-3702-6920>).

Resumen

Introducción. El maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) es fuente principal para elaborar alimentos, por lo que se requiere generar híbridos con rendimientos superiores a 2,8 t ha⁻¹ y adaptabilidad climática. **Objetivo.** Evaluar y comparar el comportamiento agronómico de cinco híbridos trilineales experimentales de maíz amarillo duro y la variedad Marginal 28T, en ocho localidades del trópico peruano. **Materiales y métodos.** El experimento se realizó en dos fases: de marzo del 2018 a marzo del 2019 en cuatro parcelas de validación en San Martín y de marzo a diciembre del 2019 en cuatro parcelas de adaptabilidad en San Martín, Pucallpa, Loreto y Amazonas. Las variables evaluadas fueron: altura de planta y mazorca, dimensiones y peso de mazorca, acame de raíz, resistencia a roya y rendimiento (t ha⁻¹). Se aplicó el diseño de bloques completos al azar con análisis combinado y la interacción genotipo x ambiente del rendimiento con el modelo efectos aditivos principales y modelos de interacción multiplicativa. **Resultados.** El híbrido HTE6 fue superior en diámetro de mazorca (4,66 cm), peso de mazorca (190,76 g), número de hileras por mazorca (14,26), granos por hilera (37,45), peso total de grano (156,21 g) y rendimiento de grano (7,21 t ha⁻¹). HTE6 mostró adaptabilidad superior en Iquitos (9,20 t ha⁻¹) y San Martín (8,10 t ha⁻¹). En la interacción genotipo-ambiente alcanzó 7,18 t ha⁻¹ y fue el más estable en las ocho localidades. **Conclusión.** De los cinco híbridos evaluados y la variedad Marginal 28T, el HTE6 tuvo el mejor desempeño agronómico y el mayor rendimiento en las ocho localidades evaluadas. Por lo que se consideró el híbrido trilineal para su liberación comercial en regiones del trópico peruano.

Palabras clave: *Zea mays*, evaluación, rendimiento, genotipo-ambiente.



Abstract

Introduction. Hard yellow corn (*Zea mays* L.) is the main source for food processing; therefore, it is necessary to generate hybrids with yields higher than 2.8 t ha⁻¹ and climatic adaptability. **Objective.** To evaluate and compare the agronomic behavior of five experimental trilinear hybrids of hard yellow corn maize and the Marginal 28T variety in eight tropical Peruvian locations. **Materials and methods.** The experiment took place in two phases: from March 2018 to March 2019 in four validation plots in San Martín, and from March to December 2019 in four adaptability plots in San Martín, Pucallpa, Loreto, and Amazonas. The evaluated variables were: plant and ear height, size and weight of ear, roots lodging, rust resistance, and yield (t ha⁻¹). A randomized complete block design was applied, with a combined analysis of yield genotype x environment interaction with the additive main effects and multiplicative interaction models. **Results.** The hybrid HTE6 had the highest ear diameter (4.66 cm), ear weight (190, 76 g), number of rows per ear (14.26), grains per row (37.45), total grain weight (156.21 g), and grain yield (7.21 t ha⁻¹). HTE6 showed superior adaptability in Iquitos (9.2 t ha⁻¹) and San Martín (8.1 t ha⁻¹). In the genotype-environmental interaction, it reached 7.18 t ha⁻¹, with the highest stability in the eight localities. **Conclusion.** Among the five trilinear hybrids and the Marginal 28T variety, the HTE6 had the best agronomic performance and the highest yield in the eight evaluated locations. Thus, it is considered the more suitable trilinear hybrid for the tropical conditions of Peru.

Keywords: *Zea mays*, evaluation, yield, genotype-environment.

Introducción

El maíz amarillo duro (*Zea mays* L. grupo Indurata) es fuente principal en la elaboración de alimentos para la industria avícola, porcina y productos alimenticios para nutrición humana (Chura Chuquija & Tejada Sorraluz, 2014; García Huatay et al., 2019). Este grano se considera un cultivo de alta trascendencia por el impacto socio económico que representa para el campesino (Lima-Medina et al., 2018), por lo que se ubica en primer lugar de importancia económica mundial, con una producción mundial de 1 185 899 millones de toneladas métricas (United States Foreign Agricultural Service, 2022). Sin embargo, la productividad actual no puede satisfacer la demanda de alimentos ante una población mundial en crecimiento (Bailey-Serres et al., 2019).

La principal estrategia para lograr el autoabastecimiento de maíz amarillo es la utilización de tecnología con híbridos de alto rendimiento que puedan aumentar la productividad (Zambrano & Andrade Arias, 2021). Para ello, es necesario mejorar su eficiencia de producción, mediante una selección adecuada de poblaciones con media y varianza genética altas en las características agronómicas de interés (Rebolloza et al., 2016). Lo que permite producir líneas endogámicas que al combinarse generen híbridos con características adaptables y con alto potencial de rendimiento (Borroel García et al., 2018).

El potencial de rendimiento de los híbridos debe evaluarse con base en los componentes de la producción del maíz. Tales componentes están determinados por características biométricas de la mazorca (longitud y diámetro, número de hileras y granos por hilera), número de mazorcas por planta, peso de 100 granos, etc. (Borroel García et al., 2018). La selección de híbridos relacionados con el rendimiento, implica que presenten tolerancia a efectos ambientales adversos y adaptación a diversas zonas agroecológicas (Li et al., 2020; Owusu et al., 2018).

El uso de maíces híbridos constituye un paso importante para el desarrollo de la agricultura. Las innovaciones en el fitomejoramiento proporcionan a los agricultores semillas que poseen características genéticas mejoradas, tales como alto potencial de rendimiento y caracteres únicos contra enfermedades y condiciones climáticas adversas (MacRobert et al., 2014). Por lo que los híbridos de maíz se prueban en ambientes específicos para masificar su uso y distribución (Kandel & Shrestha, 2020).

En los últimos años, la introducción de híbridos se atribuye a los esfuerzos del sector privado (Akhtar et al., 2018), quienes tienden a enfrentarse a los cambios del medio ambiente y a la incidencia de plagas y enfermedades (Rezende et al., 2019). A pesar de ello, los productores que utilizan la semilla híbrida esperan una mayor productividad que aquellos que utilizan la semilla tradicional (Sánchez Arizo & Fernández Sastre, 2020), por lo que el uso de híbridos trilineales en los programas de mejoramiento genético de maíz se ha incrementado al obtener mayor rendimiento de grano (López-Morales et al., 2019).

Las mejoras en el rendimiento se obtienen cuando se cruza un híbrido simple de alto rendimiento como progenitor hembra con una línea endogámica como progenitor macho. Este cruce permite aprovechar las ventajas que ofrece la heterosis en la producción comercial de maíz y en la producción de semilla (López-Morales et al., 2019).

En el Perú, la alianza entre el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), a través del Programa Nacional de Maíz, desde el año 1980, permitió la introducción de líneas y poblaciones de maíz para condiciones de trópico. Estas líneas fueron adaptadas y evaluadas mediante planes de mejoramiento genético, lo cual dio como resultado el lanzamiento de la variedad de maíz Marginal 28T en 1984 que a la fecha se cultiva, con buena adaptación en la costa y selva con tolerancia a sequía (Hidalgo Meléndez, 2013).

El INIA continua con el propósito de generar híbridos trilineales para incrementar los rendimientos de grano por hectárea en el trópico peruano. Para ello, realiza ensayos de validación en las localidades donde se generan los híbridos y procesos de evaluación de adaptabilidad en localidades fuera del ámbito de origen. Esto permite asegurar mayores ingresos económicos y así, mejorar la calidad de vida de las familias maiceras del Perú (Barandiarán Gamarra, 2020). Es por ello que el INIA ahora pretende validar nuevos híbridos que compitan o incluso mejoren el desempeño de la variedad Marginal 28T.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar y comparar el comportamiento agronómico de cinco híbridos trilineales experimentales de maíz amarillo duro y la variedad Marginal 28T, en ocho localidades del trópico peruano.

Materiales y métodos

Ubicación de las localidades de validación y adaptación

El experimento se realizó del 2 marzo del 2018 al 27 de diciembre 2019 en dos etapas: validación y adaptación. La validación se realizó en cuatro localidades de la región donde se formaron los híbridos, tres localidades prominentes en siembra de maíz de la región San Martín y una localidad de referencia ubicada en los campos de producción de la Estación Experimental Agraria (EEA) El Porvenir. Esta etapa se realizó durante la campaña óptima de cada sitio. Dichas parcelas se ubicaron en las siguientes localidades: El Porvenir (6° 35' 30" Sur y 76° 19' 29" Oeste), San Pablo (6°47'32" Sur y 76°35'23" Oeste, Santa Rosa (6°45'40" Sur y 76°35'39" Oeste) y Tingo de Ponasa (6°55'50" Sur y 76°15'10" Oeste). Todas localizadas en la zona de vida bosque seco tropical.

La etapa de adaptación se realizó en cuatro regiones del Perú. Los resultados en esta etapa sirvieron de información para la comprobación y para verificar el rango de adaptación de los cinco híbridos trilineales experimentales. Las parcelas para la prueba de adaptación de los híbridos trilineales se ubicaron en la localidad de Huarangopampa (5°39'46" Sur y 78°32'01" Oeste), en la zona de vida bosque seco tropical; Pacacocha (8°20'26" Sur y 74°33'06" Oeste), zona de bosque húmedo premontano tropical (transición a bosque húmedo tropical); San Roque, Centro Experimental San Miguel (3°47'29" Sur y 73°17'43" Oeste), zona de bosque húmedo tropical; y El Porvenir 1 (6° 35' 30" Sur y 76° 19' 29" Oeste), en zona de bosque seco tropical. La última localidad se repitió por ser de referencia donde se generaron los híbridos trilineales. Las zonas de vida se identificaron según Holdridge (Aybar-Camacho & Lavado-Casimiro, 2017).

Material vegetal y cruzamiento de los parentales para la obtención de los híbridos trilineales

En el año 2015, en los campos experimentales de la Estación Experimental Agraria (EEA) El Porvenir, San Martín, del Instituto Nacional de Innovación Agraria, se inició el proceso de mejoramiento con la obtención del híbrido de cruce simple para progenitor femenino conformado por la línea prolífica PIMLE 29 ♀ y la línea de mayor producción de polen PIMLE 26 ♂, del Programa Nacional de Maíz del INIA, el cual se cruzó con cinco líneas procedentes del CIMMYT.

Se utilizó el patrón de siembra (PS) 4:1, que consistió en cuatro filas de progenitor femenino y una fila de progenitor masculino, se eliminó la inflorescencia masculina de las cuatro filas del progenitor femenino (García-Rodríguez et al., 2018; Quiroga-Cardona, 2019). De este proceso de cruzamiento, se obtuvieron cinco híbridos trilineales experimentales (HTE): HTE1 (cruza [PIMLE 29 ♀ x PIMLE 26 ♂] x CML197 ♂), HTE2 (cruza [PIMLE 29 ♀ x PIMLE 26 ♂] x CL 02410 ♂), HTE3 (cruza [PIMLE 29 ♀ x PIMLE 26 ♂] x CML 165 ♂), HTE4 (cruza [PIMLE 29 ♀ x PIMLE 26 ♂] x CML 161 ♂) y HTE6 (cruza [PIMLE 29 ♀ x PIMLE 26 ♂] x CLYN 240). El desempeño agronómico de los híbridos se comparó con la variedad maíz amarillo duro de polinización libre Marginal 28T. Los atributos de las líneas endogámicas y de la variedad Marginal 28T se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Atributos de las líneas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) utilizadas como progenitores macho para la formación de híbridos trilineales experimentales de maíz amarillo duro y la variedad Marginal 28T.

Table 1. Attributes of the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) lines, used as male parents for the formation of hard yellow corn experimental trilinear hybrids and the Marginal 28T variety.

Línea CIMMYT	Atributos	Referencia o fuente
CML 161	Grano amarillo, textura cristalina, con 11,2 % de proteína y 0,82 % de tryptophan en la proteína, utilizado para formar híbridos comerciales en Perú	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT] (2005); Fan et al. (2006); Liu et al. (2015)
CML 165	Grano amarillo, textura dentada, 11,10 % de proteína, 0,83 % de tryptophan en la proteína	CIMMYT (2005); Fan et al. (2006); Liu et al. (2015)
CLYN 240	Para formación de híbridos simples usado como progenitor hembra, permite obtener rendimientos superiores a las 13 t ha ⁻¹	Cieza Ruiz et al. (2020)
CML 197	Maduración tardía, textura de grano cristalino, altura de planta 170 cm, altura de mazorca 100 cm, grupo heterótico A, resistente a virus del rayado de la hoja (Mastreviridae, Raza Maize streak virus, MSV), tizón foliar (<i>Exserohilum turcicum</i>) y Roya (<i>Puccinia sorghi</i>)	CIMMYT (2005); Fan et al. (2006); Liu et al. (2015)
CL 02410	Promedios de altura de planta de 251 cm, altura de mazorca de 143 cm, con rendimiento de grano amarillo de 7,62 t ha ⁻¹ , floración femenina y masculina de 54 días	Babu et al. (2013); De León y Narro León (2001)
Marginal 28T	Promedio: Altura de planta: 235,13 cm, Altura de mazorca 124,50 cm, días a la floración femenina a 87,25 días y masculina de 90,75 días, promedio de 29,54 granos por hilera. Rendimiento promedio 6,26 t ha ⁻¹ .	Fabián et al. (2020); Hidalgo Meléndez (2013)

Diseño experimental

Para las parcelas de validación y adaptación se utilizó el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron cuatro hileras de 4,8 m de largo, separadas a 0,80 m. Los sujetos de estudio fueron los cinco híbridos trilineales y la variedad Marginal 28T.

Manejo de los ensayos

Se preparó el terreno formando surcos distanciados a 0,80 m para facilitar el riego. La siembra fue manual, a 0,40 m entre planta, con un total de trece golpes por surco, equivalente a la densidad poblacional de 62 500 plantas por ha. Se aplicaron dos dosis de fertilización con un total de 180 kg ha⁻¹ N, 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ y 120 kg ha⁻¹ K₂O. La primera fertilización se realizó en la etapa V3 y consistió en aplicar el 40 % del nitrógeno con todo el P₂O₅ y K₂O. La segunda fertilización se realizó en etapa V6 y consistió en aplicar el 60 % del nitrógeno restante. Se realizaron cuatro riegos desde la siembra hasta la etapa de R4 (grano pastoso).

Registros edafoclimáticos

Los datos meteorológicos se obtuvieron de las estaciones automáticas y convencionales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica (SENAMHI), ubicadas en cada localidad. Para las parcelas de validación se tomaron de las Estaciones El Porvenir (6°35'21,24" S y 76°19'6,03" O), Tingo de Ponasa (6°56'14" S y 76°15'9,6" O), Alao (6°31'1,2" S y 76°44'17" O) y San Pablo (6°48'34,4" S y 76°34'34,5" O). Para las parcelas de validación se tomaron de las Estaciones San Roque (3°47'11,6" S y 73°17'35,7" O), Pucallpa (8°24'47,62" S y 74°34'18,67" O), Bagua (5°39'41,2" S y 78°32'2,5" O) y El Porvenir (6°35'21,24" S y 76°19'6,03" O).

Para conocer las condiciones de suelo, se tomaron diez submuestras con un barreno de 50 cm en forma de "T", a una profundidad de 20 cm. Luego se homogenizaron en una muestra compuesta de 1,00 kg, que fue analizado en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), ubicado en el distrito de la Banda de Shilcayo, provincia y región San Martín.

Las propiedades analizadas fueron pH (1:2, suelo:agua), materia orgánica (método de Walkley-Black), nitrógeno total (método de Kjeldahl-N), fósforo (Olsen), potasio intercambiable (en acetato de amonio, pH 7,00) y capacidad de intercambio catiónico (acetato de amonio, pH 7,00). Para la interpretación de los resultados se utilizaron los métodos especificados en la norma mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002).

Las medias de las condiciones ambientales y los resultados de los análisis de suelo de las ocho localidades en estudio durante sus respectivas campañas de siembra en los años 2018 y 2019, se muestran en el Cuadro 2 y Cuadro 3, respectivamente.

Plagas y enfermedades

Para prevenir el ataque del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se aplicaron dos tratamientos. El primero se aplicó a la semilla, mediante insecticida thiodicarb + imidacloprid, a dosis de 15 mL kg⁻¹ de semilla. El segundo tratamiento se hizo durante la fase vegetativa, antes de los primeros 45 días de crecimiento de los híbridos, mediante insecticida chlorantraniliprole, a razón de 5 cc 20 L⁻¹ (dosis de producto comercial).

Cuadro 2. Condiciones ambientales de las parcelas de validación ubicadas en ocho localidades del trópico peruano para los híbridos trilineales de maíz amarillo duro y la variedad Marginal 28T durante campañas de siembra del 2018 y 2019. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), San Martín, Perú.

Table 2. Environmental conditions of the validation and adaptability plots from eight Peruvian tropic locations for the hard yellow corn three-linear hybrids, and Marginal 28T variety during the 2018-2019 sowing campaigns. National Institute of Agricultural Innovation (INIA), San Martín, Peru.

Localidad	Santa Rosa - El Dorado	Tingo de Ponasa – Picota	El Porvenir - San Martín	San Pablo - Bellavista	Pacacocha – Pucallpa	San Roque - Iquitos	Huaran-gopampa - Bagua	El Porvenir – San Martín
Campaña	Mar 2018 – Jun 2018	Mar 2018 – Jul 2018	Oct 2018 – Mar 2019	Oct 2018 – Mar 2019	Mar 2019 – Jun 2019	Ago 2019 – Dic 2019	Mar 2019 – Ago 2019	Feb 2019 – Jun 2019
Temperatura media (°C)	26,77	26,54	26,20	27,47	26,48	27,71	22,93	26,08
Humedad relativa (%)	85,48	76,74	83,42	79,09	84,75	87,43	78,64	82,76
Precipitación (mm)	661,20	358,90	511,50	442,80	614,10	705,30	191,20	429,90
Altitud (m s. n. m.)	420	238	225	270	152	106	400	225

Cuadro 3. Condiciones de suelo de las parcelas de validación ubicadas en ocho localidades del trópico peruano para los híbridos trilineales de maíz amarillo duro y la variedad Marginal 28T, durante campañas de siembra del 2018 y 2019. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), San Martín, Perú.

Table 3. Soil conditions of the validation and adaptability plots from eight Peruvian tropic locations for the hard yellow corn three-linear hybrids and Marginal 28T variety during the 2018-2019 sowing campaigns. National Institute of Agricultural Innovation (INIA), San Martín, Peru.

Localidad	Santa Rosa - El Dorado	Tingo de Ponasa – Picota	El Porvenir - San Martín	San Pablo - Bellavista	Pacacocha – Pucallpa	San Roque - Iquitos	Huaran-gopampa - Bagua	El Porvenir – San Martín
Textura	Franco	Franco	Arcilloso	Franco limoso	Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco limoso	Arcilloso
pH	7,83‡	8,02‡	6,26†	7,81‡	6,96†	6,92†	7,42‡	6,26†
C.E dS/m	0,12 ^v	0,16 ^v	0,22 ^v	0,34 ^v	0,17 ^v	0,19 ^v	0,17 ^v	0,22 ^v
M.O (%)	2,76▶	2,26▶	3,76▶	3,95▶	2,11▶	1,37▼	2,08▶	3,76▶
N (%)	0,12▶	0,10▶	0,20▶	0,18▶	0,11▶	0,07▼	0,10▶	0,20▶
P ppm	5,62▼	6,94▼	10,00▶	25,32▲	16,40▲	10,80▶	14,20▲	10,00▶
K+ cmol/kg	0,49▲	0,97▲	0,60▲	1,82▲	0,30▲	0,16▲	3,03▲	0,60▲
Ca cmol/kg	20,85▲	30,67▲	14,16▲	32,38▲	19,35▲	15,46▲	39,83▲	14,16▲
Mg cmol/kg	1,46▶	2,43▲	2,16▲	3,17▲	2,59▲	2,53▲	3,03▲	2,16▲

Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) del Perú. / Water and Soil Analysis Institute for Tropical Crops (ICT) of Peru.

†: ligeramente ácido, ‡: moderadamente alcalino, ‡: ligeramente alcalino, ▶: medio, ▲: alto, ▼: Bajo, v: No salino. / †: Slightly acid, ‡: moderately alkaline, ‡: slightly alkaline, ▶: medium, ▲: high, ▼: low, v: no saline.

Control de malezas

Las malezas fueron erradicadas en forma manual en dos oportunidades y mediante una aplicación del herbicida nicosulfuron, 50 mL 20 L⁻¹ durante la etapa de crecimiento vegetativo V6.

Variables evaluadas

Para determinar los días a la floración masculina y femenina, se registraron los días en que el 50 % de las plantas de la parcela alcanzó el estado R1. La altura de la planta, altura de mazorca y longitud de mazorca se midieron con flexómetro de 5 m, con 1 mm de precisión. El diámetro de las mazorcas se midió con vernier digital, precisión de 0,01 mm. El número de hileras y el número de granos por hilera se realizó mediante conteo visual. El peso de grano, peso de mazorca y peso de 100 semillas se registró con una balanza digital (precisión de 0,01 g).

La textura y color de grano se obtuvo mediante evaluación cualitativa, de acuerdo con los descriptores varietales de Carballo Carballo et al. (2014), Carballo Carballo y Ramírez (2010) y la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales [UPOV] (2009).

El rendimiento en t ha⁻¹ se determinó con la fórmula tomada de Fabián et al. (2020), Huanuqueño et al. (2021) y Medina-Hoyos et al. (2020), que se representa en la ecuación 1. Para ello, se registró el peso de grano fresco al momento de la cosecha en R6, solo de las plantas de las dos hileras centrales de cada parcela, con una balanza reloj (precisión 0,50 kg):

$$RG \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = ((10\ 000 \text{ m}^2/\text{A m}^2) * \text{PCC} * \text{ID} * \text{Fh}) / 1000 \quad (1)$$

Donde:

10 000 m² = área de una hectárea, A m² = área de parcela (7,68 m²).

PCC = peso de campo corregido de mazorcas cosechadas por parcela (ecuación 2).

ID = índice de desgrane (peso de grano/peso de mazorca).

Fh = factor de corrección por humedad, ajustado al 14 % (ecuación 3).

1000 = factor de conversión a t ha⁻¹.

$$\text{PCC} = [(\text{PI} - (0,3 * \text{PI}) / \text{PCP}) + 0,3] * \text{PC} \quad (2)$$

Donde:

PCC = peso de 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 campo (kg).

$$\text{Fh} = [(100 - \% \text{ humedad de cosecha}) / 86] \quad (3)$$

Donde 86 es una constante para estimar el rendimiento de grano comercial con humedad del 14 %.

Análisis estadístico

Para las variables de comportamiento agronómico (días a la floración, altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras y número de granos por hilera, peso de grano, peso de mazorca y peso de 100 semillas), se realizaron análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey al 5 % de error. El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico Rstudio Team (2020) v. 4.1.0 y la librería Agricolae (de-Mendiburu, 2021).

Para evaluar la interacción genotipo por ambiente, se utilizó el modelo multivariado AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interactions) descrito por de Oliveira et al. (2014). El AMMI combinó en un solo análisis la varianza y los componentes principales (CP) para facilitar el análisis de la variable rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$), como criterio de selección de los híbridos trilineales más apropiados para los productores en las ocho localidades del trópico de Perú. En todas las comparaciones se evaluó también el híbrido Marginal 28T, de uso actual en las regiones de prueba.

El modelo AMMI generó dos gráficas biplot, una con los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) y otra con la variable de rendimiento y el componente principal CP1. La ecuación 4 muestra la función del modelo AMMI

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + B(E)_{kij} + \sum_{k=1}^N \lambda_k \gamma_{ik} \delta_{jk} + \rho_{(ij)} + e_{ij} \quad (4)$$

Donde:

Y_{ijk} = observaciones k del genotipo i en el ambiente j .

μ = media general.

G_i = efecto principal del genotipo i (considerado fijo).

E_j = efecto principal del ambiente j (considerado aleatorio).

$B(E)_{kij}$ = efecto del bloque K dentro del ambiente j .

N = número de componentes principales retenido en el modelo.

λ_k = es el valor singular del eje K en el análisis de componentes principales.

γ_{ik}, δ_{jk} = son los factores genotípicos y ambientales, respectivamente, de los vectores singulares asociados con λ_k .

$\rho_{(ij)}$ = residual de la interacción GE.

e_{ij} = error asociado con cada medición.

Resultados

Parcelas de validación en cuatro localidades del trópico en la región San Martín

El comportamiento agronómico de los híbridos trilineales experimentales fue significativo en días a la floración femenina y masculina, altura de planta y mazorca, acame de raíz, mala cobertura de mazorca, presencia de roya y rendimiento de grano. También resultaron significativas las evaluaciones realizadas a la mazorca, tales como diámetro y peso de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, peso total de grano, color y textura de grano.

El análisis de las localidades fue significativo en las variables de mala cobertura de mazorca ($p=0,0001$), presencia de roya ($p=0,0001$), rendimiento de grano ($p=0,0001$), diámetro y peso de mazorca ($p=0,0001$), número de hileras por mazorca ($p=0,015$) y peso total de grano ($p=0,0001$). La interacción no fue significativa en altura de planta ($p=0,170$), altura de mazorca ($p=0,064$), acame de raíz ($p=0,175$), diámetro ($p=0,538$) y peso de mazorca ($p=0,414$), número de hileras por mazorca ($p=0,111$), número de granos por hilera ($p=0,488$) y peso total de grano ($p=0,122$).

En la prueba de medias de Tukey al 5 %, las medias de HTE1, HTE4 y HTE6 y la variedad Marginal 28T superaron a los días de la floración masculina de los híbridos trilineales HTE3 y HTE2. En el caso de la floración femenina, las medias del híbrido trilineal HTE1 y la variedad Marginal 28T superaron estadísticamente a los demás híbridos trilineales. Lo mismo sucedió en las variables de altura de planta y mazorca (Cuadro 4).

En acame de raíz, la variedad Marginal 28T presentó el mayor número de plantas con acame. Con respecto a mala cobertura de mazorca y presencia de roya, el híbrido trilineal HTE3 presentó el mayor número de plantas susceptibles.

Cuadro 4. Medias del comportamiento agronómico y mazorca de híbridos trilineales de maíz amarillo duro y la variedad Marginal 28T en cuatro localidades del trópico peruano, durante las campañas 2018 y 2019. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Perú.

Table 4. Agronomic performance and ear average data of hard yellow corn three-linear hybrids and Marginal 28T variety at four locations of the Peruvian tropic during the 2018 and 2019 sowing campaigns. National Institute of Agricultural Innovation (INIA), Peru.

FV	CM Localidad	CM Cultivar	CM C*L	Error	p-valor Localidad	p-valor Cultivar	p-valor C*L	Media	CV%
GL	3	5	15	60					
DFM	0,68	3,29	1,74	0,77	0,609	0,002**	0,014*	53,45 días	1,64
DFF	1,46	2,92	1,77	0,92	0,352	0,013*	0,038*	55,40 días	1,73
AP (cm)	1166,26	1321,34	142,90	100,93	0,024*	<0,0001**	0,170	215,52 cm	4,66
AMz (cm)	352,44	888,27	125,24	71,31	0,163	<0,0001**	0,064	115,08 cm	7,34
AR	0,72	0,35	0,15	0,11	0,095	0,012*	0,176	1,16	28,31
MC	1,26	0,61	0,61	0,02	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**	1,04	5,63
PR	1,27	0,17	0,08	0,04	0,0001**	0,004**	0,048**	1,16	18,00
Rend (t ha ⁻¹)	7,03	9,02	0,87	0,24	<0,0001**	<0,0001**	0,0002**	6,25 t ha ⁻¹	7,87
DMz (cm)	0,37	0,13	0,02	0,02	0,0001**	0,0001**	0,538	4,53 cm	3,07
P.Mz (g)	24009,90	2179,24	332,53	314,59	<0,0001**	<0,0001**	0,414	174,52 g	10,16
N° H/Mz	1,52	6,31	0,56	0,36	0,015*	<0,0001**	0,111	13,91 hileras	4,30
N° GH	29,66	58,16	15,68	16,01	0,200	0,006**	0,488	38,17 granos	10,48
PTG (g)	13824,21	1473,97	305,25	198,92	<0,0001**	<0,0001**	0,122	143,1 g	9,86
CG	0,01	0,39	0,43	0,15	0,984	0,038*	0,003**	N	14,39
TexG	0,08	1,04	0,36	0,35	0,921	0,17*	0,433	SC	26,63

FV: fuente de variabilidad, GL: grado de libertad, CM: cuadrado medio, C*L: interacción cultivares por localidad, CV%: coeficiente de variabilidad, DFM: días a la floración masculina, DFF: días a la floración femenina, AP: altura de planta, AMz: altura de mazorca, AR: acame de raíz, MC: mala cobertura de mazorca, PR: plantas con roya, Rend: rendimiento de grano, DMz: diámetro de mazorca, P.Mz: peso de mazorca, N° H/Mz: número de hileras/Mazorca, N° GH: número de granos por hilera, PTG: peso total de grano, CG: color de grano, TexG: textura de grano. N: naranja, SC: semicristalino. *: Significancia estadística al 0.05 de probabilidad, **: Significancia estadística al 0.01 de probabilidad. / FV: source of variation, GL: degrees of freedom, CM: mean square, C*L: cultivar-by-location interaction, CV%: variability coefficient, DFM: days for male flowering, DFF: days to female flowering, AP: plant height, AMz: ear height, AR: lodging roots, MC: poor ear coverage, PR: plants with rust, Rend: grain yield, DMz: ear diameter, P.Mz: ear weight, N° H/Mz: number of lines/ear, N° GH: number of grains by line, PTG: total grain weight, CG: grain color, TexG: grain texture. N: orange, SC: semi crystalline. *: statistical significance at 0.05, **: statistical significance at 0.01.

En cuanto a rendimiento de grano, el híbrido trilineal HTE6 obtuvo mayor rendimiento y fue superior en todas las localidades. HTE6 también fue superior en el diámetro de mazorca, peso de mazorca y peso total de granos.

Parcelas de adaptación en cuatro regiones del trópico peruano

En las parcelas de adaptación instaladas en cuatro localidades del trópico de Perú, El Porvenir (Región San Martín), Pacacocha (Región Ucayali), San Roque (Región Loreto) y Hurangopampa (Región Amazonas), existieron diferencias significativas en todas las variables de comportamiento agronómico y rendimiento ($p \leq 0,01$). Entre genotipos también existieron diferencias altamente significativas en los días a la floración femenina y masculina ($p \leq 0,0001$) y de rendimiento ($p \leq 0,0001$), excepto en las variables de acame de raíz ($p = 0,295$) y pudrición de mazorca ($p = 0,280$), que no mostraron diferencias significativas. La interacción entre genotipos y localidades mostró diferencias significativas ($p \leq 0,01$), excepto en las variables altura de mazorca ($p = 0,223$) y pudrición de mazorca ($p = 0,069$).

Las pruebas de Tukey al 5 % de las medias de las variables en estudio (Cuadro 5), indicaron que los promedios de los días a la floración (masculina y femenina) en las localidades de El Porvenir, Pacacocha y Huarangopampa, fueron superiores a los alcanzados en la localidad de San Roque, con una variación de uno a dos días. Las variables altura de planta y mazorca, acame de tallo y rendimiento en $t\ ha^{-1}$ (Figura 1), fueron más altas en la localidad de San Roque con respecto a las demás localidades. Mientras que para acame de raíz, la localidad de Pacacocha tuvo más plantas afectadas con respecto a las demás localidades.

Cuadro 5. Medias del comportamiento agronómico de híbridos trilineales de maíz amarillo duro en cuatro localidades del trópico peruano durante la campaña de siembra de marzo a diciembre del 2019. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), San Martín, Perú.

Table 5. Means of the agronomic performance average data of hard yellow corn three-linear hybrids at four locations of the Peruvian tropic during the sowing campaign from March to December 2019. National Institute of Agricultural Innovation (INIA), San Martín, Peru.

Localidad	DFM	DFF	AP (cm)	AMz (cm)	AR	AT	PMz
Huarangopampa	53,63 a	55,42 a	214,50 c	112,58 b	1,02 b	2,23 a	1,62 a
San Roque	51,33 b	53,29 b	264,67 a	130,13 a	1,15 ab	1,84 a	1,31 b
Pacacocha	53,00 a	54,88 a	207,38 c	112,71 b	1,34 a	1,06 b	1,3 b
El Porvenir	53,21 a	54,63 a	227,42 b	119,58 b	1,02 b	1,37 b	1,25 b

DFM: días a la floración masculina, DFF: días a la floración femenina, AP: altura de planta, AMz: altura de mazorca, AR: acame de raíz, AT: acame de tallo, PMz: pudrición de mazorca. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). / DFM: days to male flowering, DFF: days to female flowering, AP: plant height, AMz: ear height, AR: lodging root, AT: bended stem, PMz: ear rot. Different letters in the same column indicate statistical differences ($p \leq 0,05$).

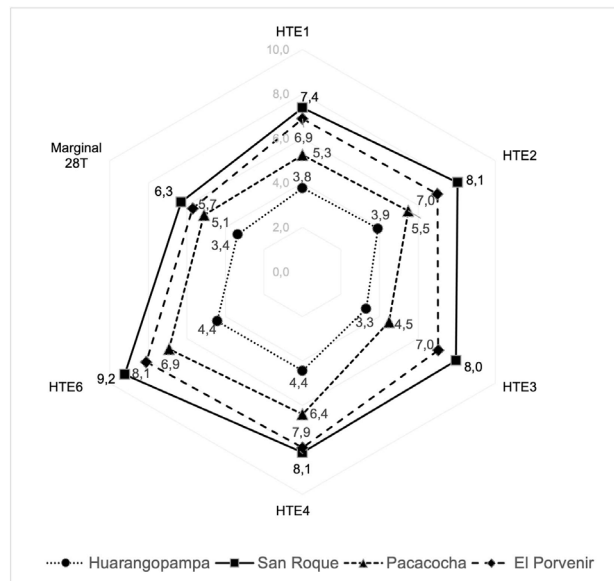


Figura 1. Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de cinco híbridos trilineales de maíz amarillo duro y de la variedad Marginal 28T en las localidades de Huarangopampa (Amazonas), San Roque (Iquitos), Pacacocha (Ucayali) y El Porvenir (San Martín) en las parcelas de adaptación durante la campaña de siembra 2019. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Perú.

Figure 1. Yield ($t\ ha^{-1}$) of five hard yellow corn three-linear hybrids and the Marginal 28T variety at the locations of Huarangopampa (Amazonas), San Roque (Iquitos), Pacacocha (Ucayali), and El Porvenir (San Martín), in the adaptation plots, during the 2019 sowing campaign. National Institute of Agricultural Innovation (INIA), Peru.

Interacción genotipo x ambiente de híbridos trilineales

El modelo presentó un coeficiente de variabilidad de 8,80 % para rendimiento de grano, lo que indica confiabilidad y reproducibilidad de la evaluación. El rendimiento promedio general fue de 6,18 t ha⁻¹, con valores promedio por genotipo desde 5,16 hasta 7,18 t ha⁻¹ para Marginal 28T y HTE6, respectivamente.

Según el modelo AMMI, producto de la descomposición del valor singular para reducir la dimensionalidad de los componentes principales, se observaron cinco componentes principales. Los tres primeros componentes (CP1, CP2 y CP3) fueron estadísticamente significativos ($p > 0,01$) para la variable rendimiento en t ha⁻¹, con una contribución del 45,20 %, 28,40 % y 15,60 % y con 11, 9 y 7 grados de libertad, respectivamente. Los dos primeros componentes principales (CP) explicaron el 73,60 % de la variabilidad total observada.

El análisis AMMI para agrupaciones de ambientes, genotipos e interacción genotipo x ambiente, determinó que la localidad de San Roque fue la que presentó el mayor potencial productivo, con 7,85 t ha⁻¹.

En las localidades de El Porvenir y Pacacocha hubo rendimientos promedios de 7,01 y 5,62 t ha⁻¹, respectivamente. Lo cual indica buenas condiciones agroclimáticas para el rendimiento de los materiales evaluados. La localidad de Huarangopampa, donde las escasas precipitaciones no favorecieron el rendimiento (promedio de 3,87 t ha⁻¹) de los híbridos trilineales y de la variedad Marginal 28T, se consideró la menos favorable.

Los componentes CP1 y CP2 del Biplot de AMMI, con base en la variable rendimiento de grano (t ha⁻¹), indicaron los genotipos con adaptación general, estos fueron los asociados y cercanos al vértice (HTE6 y HTE2). Los genotipos con adaptación específica fueron aquellos asociados al vértice del vector de uno o varios de ellos (Marginal 28T, HTE3, HTE1 y HTE4). El aporte de cada localidad en la interacción genotipo x ambiente se notó a través de la mayor longitud del vector (Figura 2) y mayor aporte en la interacción (San Roque, El Porvenir y San Pablo).

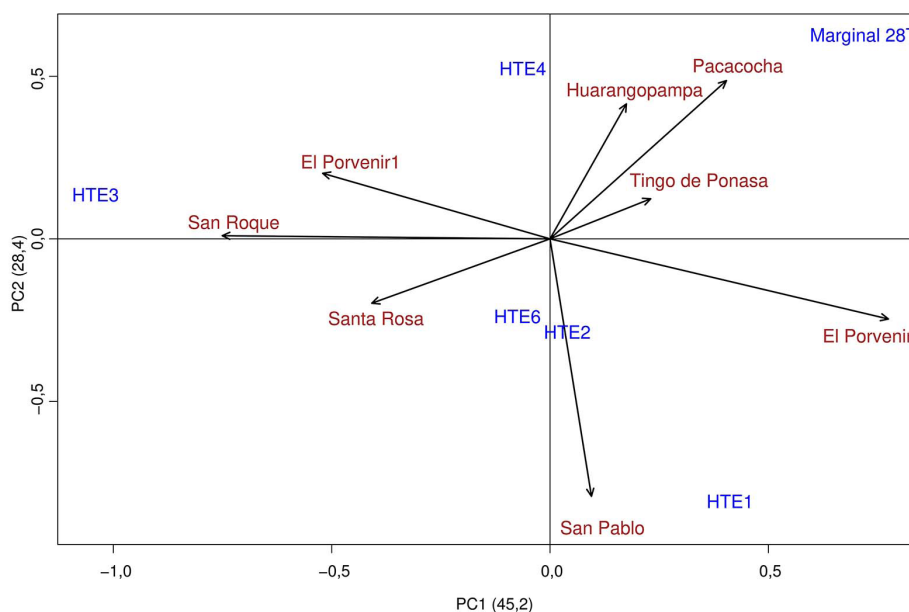


Figura 2. Biplot de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI) con los primeros dos componentes principales (PC1 y PC2) de seis cultivares de maíz amarillo duro evaluados en ocho localidades peruanas durante 2018 y 2019. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

Figure 2. Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) biplot with the two first principal components (PC1 and PC2) from six hard yellow corn cultivars evaluated at eight Peruvian locations during 2018 and 2019. National Institute of Agricultural Innovation (INIA).

Por su mayor y menor longitud del vector ambiente, las localidades San Roque y Tingo de Ponasa fueron las que presentaron el mayor y menor aporte al rendimiento del grano en la interacción genotipo x ambiente, respectivamente.

En el biplot de PC1 y el rendimiento ($t\ ha^{-1}$), los ambientes El Porvenir1, Santa Rosa y San Roque, presentaron valores bajos en el CP1 y mostraron rendimientos superiores a la media general. Mientras que en los ambientes El Porvenir, Pacacocha, Tingo de Ponasa y Huarangopampa, se detectaron valores altos del CP1 y rendimientos por debajo de la media general; por lo que se considera que estos últimos ambientes son los que mejor discriminaron el rendimiento, de los genotipos de maíz. El mejor genotipo para todos los ambientes fue el HTE6 (Figura 3).

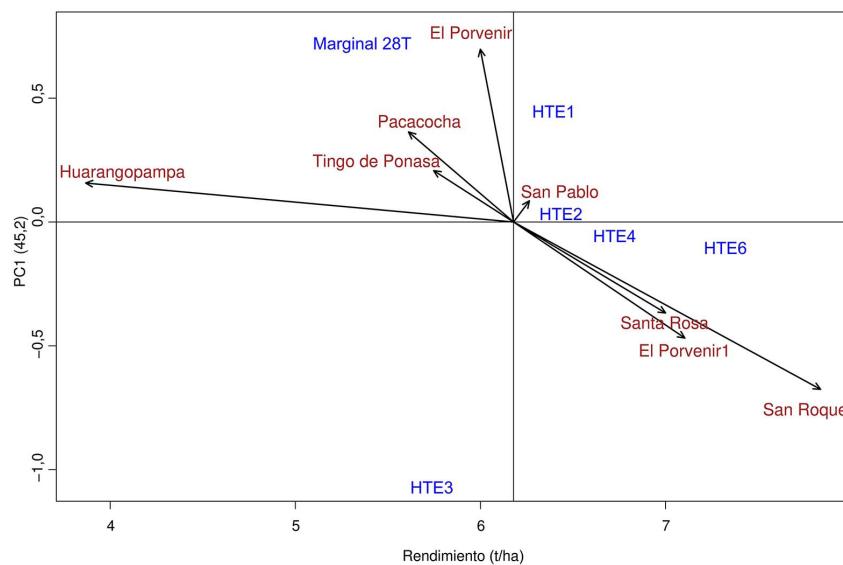


Figura 3. Biplot de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI) con el primer componente principal (CP1) y rendimiento promedio ($t\ ha^{-1}$) de seis genotipos de maíz amarillo duro en ocho localidades del trópico peruano durante 2018 y 2019. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

Figure 3. Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) biplot with the first principal component (CP1) and average yield ($t\ ha^{-1}$) of six hard yellow corn genotypes at eight Peruvian locations during 2018 and 2019. National Institute of Agricultural Innovation (INIA).

Los valores de estabilidad AMMI indicaron que el híbrido trilineal HTE6 resultó ser el más estable, seguido del HTE2, mientras que HTE3 se encontró en la sexta posición, debido a su bajo desempeño agronómico en las ocho localidades (Cuadro 6).

Discusión

Las temperaturas medias durante el crecimiento de los híbridos trilineales y la variedad Marginal 28T, estuvieron dentro del rango de 20 a 30 °C, valor que se considera adecuado, ya que fuera de este intervalo se reduce o se detiene el crecimiento celular (Barandiarán Gamarra, 2020). En relación con la acidez del suelo, el rango óptimo de pH para el cultivo maíz está entre 5,50 a 6,50, pero los valores reportados en esta investigación

Cuadro 6. Valores de estabilidad de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI) de rendimiento de grano de seis genotipos de maíz amarillo duro evaluados en ocho localidades del trópico peruano durante 2018-2019. Instituto Nacional de Innovación Agraria.

Table 6. Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) yield stability values from six hard yellow corn genotypes evaluated at eight locations of the Peruvian tropics during 2018-2019. National Institute of Agricultural Innovation (INIA).

Genotipos	Rendimiento (t ha ⁻¹)	ASV	Orden de estabilidad
HTE6	7,186	0,270	1,0
HTE4	6,577	0,536	3,0
HTE2	6,299	0,281	2,0
HTE1	6,248	1,021	4,0
HTE3	5,603	1,688	6,0
Marginal 28T	5,162	1,366	5,0
CV	8,18%	Media	6,18 t ha ⁻¹

ASV: valor de estabilidad del modelo AMMI, CV: coeficiente de variación. / ASV: stability value of the AMMI model, CV: variation coefficient.

estuvieron por encima de este rango, lo que indica baja disponibilidad de la mayoría de los nutrientes (Barandiarán Gamarra, 2020; SEMARNAT, 2002). El nivel de salinidad indica que los suelos fueron adecuados para el cultivo de maíz (Barandiarán Gamarra, 2020).

El comportamiento agronómico de los híbridos trilineales fue diferente en las localidades donde se instalaron las parcelas de validación, como consecuencia de las diversas condiciones ambientales y los suelos (Cuadro 4). En las parcelas de validación, los días a la floración en los híbridos trilineales se encontraron en la clasificación de floración temprana (UPOV, 2009). En relación con su altura, de acuerdo con los descriptores varietales de Carballo Carballo et al. (2014) y Carballo Carballo y Ramírez (2010), el híbrido trilineal HTE1 (225,00 cm) y la variedad Marginal 28T (224,63 cm) se consideran plantas altas, mientras que los híbridos trilineales HTE2 (214,88 cm), HTE3 (202,13 cm), HTE4 (208,25 cm) y HTE6 (218,25 cm), se consideran plantas medianas. En altura de mazorca, el híbrido HTE1 (122,38 cm) y la variedad Marginal 28T (124,25 cm) son altos, mientras que los demás híbridos triples están clasificados como medianos.

En cuanto a rendimiento de grano, el híbrido trilineal HTE6 fue superior en 2 t ha⁻¹ a la variedad Marginal 28T y entre 0,54 y 1,71 t ha⁻¹ a los demás híbridos trilineales evaluados. Esto demuestra que la adaptación de los híbridos jugó un papel crucial en la expresión de su rendimiento (Vélez-Torres et al., 2018).

En relación con la altura de la planta, difiere de lo obtenido por Guamán et al. (2020), quienes mencionaron que mientras más grande sea la planta de maíz, mayor producción se presentará. Esto debido a que la eficiencia fotosintética de la planta es mayor, por ende, sus procesos bioquímicos serán más favorables. No obstante, HTE6 obtuvo el promedio de rendimiento más alto como planta mediana, a diferencia del HTE1, que es planta alta. Por lo que se considera deseable contar con materiales de porte bajo que toleren altas densidades y resistan el acame (Cieza Ruiz et al., 2020).

Los resultados obtenidos del HTE6 en el diámetro y peso de mazorca y mayor peso total de granos, se debieron a que estas características están gobernadas por la constitución genética de la planta y por el ambiente. A mayor disponibilidad de agua y mejor nivel nutricional del suelo, se genera una mayor asimilación de fotosintatos en la hoja, los cuales se redirigen a la mazorca durante la etapa de prefloración hasta llenado de grano. Esto permite un adecuado llenado de grano y número de hileras por mazorca, lo que incrementa significativamente el rendimiento del maíz (Fabián et al., 2020).

En cuanto a color y textura de grano, el predominante fue el color naranja con textura semi-cristalina, según los descriptores de Carballo Carballo et al. (2014), Carballo Carballo y Ramírez (2010) y la UPOV (2009). En la actualidad el color naranja en el grano tiene mayor demanda, debido a su uso en la elaboración de alimento balanceado para aves y al incremento del consumo de carne de pollo. Esto desde la liberación de la variedad Marginal 28T (Chávez et al., 2022).

En las parcelas de adaptación (genotipo-ambiente) en las cuatro regiones del trópico peruano, los resultados de acame de raíz, altura y pudrición de mazorca, indican que estas variables no fueron afectadas por las condiciones ambientales, por lo que se consideran características estables en cada genotipo.

Los diferentes días a la floración (masculina y femenina), altura de planta y mazorca, acame de tallo y rendimientos alcanzados por cada híbrido trilineal en El Porvenir, Pacacocha, Huarangopampa y San Roque, se debieron a los factores ambientales característicos de cada localidad, ya que este comportamiento agronómico entre los híbridos trilineales se atribuye a la respuesta del genotipo a los factores medioambientales (Vélez-Torres et al., 2018). No obstante, estos híbridos trilineales obtuvieron altos rendimientos (6,67 a 7,21 t ha⁻¹) con respecto a la media nacional para el trópico peruano (2,87 t ha⁻¹) (Moreyra Muñoz, 2022).

El HTE6 destacó (9,22 t ha⁻¹) en las localidades de San Roque, El Porvenir (8,11 t ha⁻¹), Pacacocha (6,92 t ha⁻¹) y Huarangopampa (4,42 t ha⁻¹), por su mejor rendimiento, que estuvo expresado por la adaptación de la planta al ambiente y el desarrollo que la misma pudo alcanzar en la zona plantada (Guamán et al., 2020). Los mayores rendimientos en San Roque, se pueden atribuir a mayores precipitaciones, temperatura y humedad (Cuadro 2 y 3), y condiciones óptimas de suelo (Vasco Medina et al., 2017), lo que permitió obtener altos rendimientos en los genotipos. Por ello, esta localidad se consideró ideal para realizar evaluaciones de productividad en el proceso de selección de nuevos materiales de maíz, ya que permitió la expresión del máximo potencial productivo.

La evaluación de las cruzas en diferentes localidades, permitió seleccionar un nuevo híbrido con base en las características relacionadas con el rendimiento, las cuales mostraron la mayor eficiencia de selección, esto permite masificar su uso y distribución (Kandel & Shrestha, 2020; Li et al., 2020). De lo anterior, se considera que el híbrido trilineal con mejor adaptación para producir en las ocho localidades del trópico de Perú donde se siembra maíz amarillo duro fue el HTE6. Debido a ello, al HTE6 se le concedió la denominación INIA-624 “Killu Suk” y se le otorgó el N° 001-2020-INIA en el registro de cultivares, como nuevo híbrido trilineal de maíz amarillo duro para las condiciones de trópico de Perú.

El valor inferior obtenido en Huarangopampa, se atribuye a factores medioambientales, ya que si el maíz sufre de estrés hídrico, nutricional y térmico durante la floración, la emisión de pistilos y el crecimiento de la mazorca se detienen en relación con la emisión de polen en la panoja y el intervalo entre emisión de pistilos y anthesis aumenta, lo que disminuye el rendimiento (Medina-Hoyos et al., 2020; Vasco Medina et al., 2017). Se considera que en Huarangopampa ocurrió esta situación debido a la escasez de lluvias.

Conclusiones

Los análisis de varianza de las pruebas de validación y adaptación en ocho localidades del trópico peruano de cinco híbridos trilineales (HTE1, HTE2, HTE3, HTE4 y HTE6) y la variedad Marginal 28T de maíz amarillo duro, indicaron que el mejor comportamiento agronómico se obtuvo con el híbrido HTE6, por su mayor tolerancia a enfermedades y mayor producción por mazorca. El análisis combinado del genotipo x ambiente indicó que el HTE6 también obtuvo el mayor rendimiento en las ocho localidades donde se evaluaron los seis cultivares.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Equipo técnico del Programa Nacional de Maíz, especializado en manejo agronómico y mejoramiento genético de maíz, conformado por los señores Jorge Torres, Pedro Mendoza y Marcos Tenazoa de la EEA El Porvenir – INIA.

Referencias

- Akhtar, S., Li, G., Ullah, R., Nazir, A., Iqbal, M. A., Raza, M. H., Iqbal, N., & Faisal, M. (2018). Factors influencing hybrid maize farmers' risk attitudes and their perceptions in Punjab Province, Pakistan. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(6), 1454–1462. [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61796-9](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61796-9)
- Aybar-Camacho, C., & Lavado-Casimiro, W. (2017). *Atlas de zonas de vida del Perú: guía explicativa*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/259>
- Babu, R., Palacios Rojas, N., Gao, S., Yan, J. & Pixley, K. (2013). Validation of the effects of molecular marker polymorphisms in LcyE and CrtRB1 on provitamin A concentrations for 26 tropical maize populations. *Theoretical and Applied Genetics*, 126, 389–399. <http://doi.org/10.1007/s00122-012-1987-3>
- Bailey-Serres, J., Parker, J. E., Ainsworth, E. A., Oldroyd, G. E. D., & Schroeder, J. I. (2019). Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*, 575, 109–118. <http://doi.org/10.1038/s41586-019-1679-0>
- Barandiarán Gamarra, M. A. (2020). *Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1643>
- Borroel García, V. J., Salas Pérez, L., Ramírez Aragón, M. G., López Martínez, J. D., & Luna Anguiano, J. (2018). Rendimiento y componentes de producción de híbridos de maíz en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 423–429. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.281>
- Carballo Carballo, A., & Ramírez, M. E. (2010). *Manual gráfico para la descripción varietal de maíz (Zea mays L.)*. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, & Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/390820/MGDVMaiz.pdf>
- Carballo Carballo, A., Ramírez, M. E., Coronado Hernández, R., Alcázar Andrade, J., Simental Sánchez, F. J., Martínez Valdés, G., Estrada Gómez J. A., Mejía Andrade, H., Virgen Vargas, J., Espinosa Calderón, A., Padilla Ramírez, R., Castillo Gonzáles, F., López Herrera, A., & Pérez Jerónimo, G. (2014). *Guía técnica para la descripción varietal*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, & Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/120832/Maiz.pdf>
- Chávez, A., Narro León, L. A., Jara Calvo, T. W., Narro León, T. P., Medina Hoyos, A. E., Cieza Ruiz, I., Díaz Chuquizuta, P., Alvarado Rodríguez, R., & Escobal Valencia, F. (2022). Tecnologías disponibles para incrementar la producción de maíz en Perú. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1), Artículo 2507. <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2507>
- Chura Chuquija, J., & Tejada Soraluz, J. (2014). Ccomportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú. *Idesia*, 32(1), 113–118. <https://bit.ly/3VZCUtF>

- Cieza Ruiz, I., Jara Calvo, T. W., Terrones Monteza, R., Figueroa Cobeñas, Y. C., & Valdera Cajusol, A. (2020). Características agronómicas, componentes de producción y rendimiento de grano de híbridos de maíz (*Zea mays*). *Manglar*, 17(3), 261–267. <http://doi.org/10.17268/manglar.2020.038>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2005). *Maize inbred lines released by CIMMYT. A compilation of 497 CIMMYT maize lines (CMLs)*. <https://bit.ly/3x2WdsD>
- De León, C., & Narro León, L. (2001). *Annual report 2001: South American Regional Maize Program (SARMP)*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <https://bit.ly/3wXcEW0>
- de Mendiburu, F. (2021). *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R Foundation. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- de Oliveira, E. J., de Freitas, J. P. X., & de Jesús, O. N. (2014). AMMI analysis of the adaptability and yield stability of yellow passion fruit varieties. *Scientia Agricola*, 71(2), 139–145. <http://doi.org/10.1590/S0103-90162014000200008>
- Fabián, N. H., Luis, D. B., & Tirado, R. H. (2020). Comparativo de rendimiento en híbridos nacionales e internacionales de maíz bajo condiciones del valle de Pativilca, Lima, Perú. *Peruvian Agricultural Research*, 2(2), 60–67. <https://doi.org/10.51431/par.v2i2.643>
- Fan, X. -M., Chen, H.-M., Tan, J., Huang, Y. -X., Duan, Z. -L., Liu, F., & Huan, X. -R. (2006). Analysis of yield combining ability of subtropical tropical quality protein maize inbred line and temperate normal maize inbred line. *Journal of Maize Sciences*, 1, 12–15.
- García Huatay, M., Guerrero Padilla, A. M., & Cabrera Carranza, C. F. (2019). Evapotranspiración y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar”, *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” en el valle Chicama, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 793–814.
- García-Rodríguez, J. J., Ávila-Perches, M. A., Gámez-Vázquez, F. P., de la O-Olán, M., & Gámez-Vázquez, A. J. (2018). Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(1), 31–37. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.31-37>
- Guamán, R. N., Desiderio Vera, X., Villavicencio, Á. F., Ulloa, S. M., & Romero Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 47–56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Hidalgo Meléndez, E. (2013). *Manejo técnico del cultivo de maíz amarillo duro en la región San Martín*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/149>
- Huanuqueño, H., Zolla, G., & Jiménez, J. (2021). Selección de líneas S1 de maíz morado (*Zea mays* L.) var. reventón basado en el análisis de segregación de caracteres de valor. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 535–543. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.058>
- Kandel, B. P., & Shrestha, K. (2020). Performance evaluation of maize hybrids in inner-plains of Nepal. *Heliyon*, 6(12), Article e05542. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05542>
- Li, G., Dong, Y., Zhao, Y., Tian, X., Würschum, T., Xue, J., Chen, S., Reif, J. C., Xu, S., & Liu, W. (2020). Genome-wide prediction in a hybrid maize population adapted to Northwest China. *The Crop Journal*, 8(5), 830–842. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.04.006>

- Lima-Medina, I., Bravo, R. Y., & Aguilar-Gómez, M. I. (2018). Nematodos fitoparasitos asociados al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en las regiones de Puno y Cusco. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 31–38. <http://doi.org/10.18271/ria.2018.328>
- Liu, L., Jeffers, D., Zhang, Y., Ding, M., Chen, W., Kang, M. S., & Fan, X. (2015). Introgression of the crtRB1 gene into quality protein maize inbred lines using molecular markers. *Molecular Breeding*, 35(8), Article 154. <http://doi.org/10.1007/s11032-015-0349-7>
- López-Morales, F., Chura-Chuquiya, J., & García-Pando, G. (2019). Interacción genotipo por ambiente del rendimiento de maíz amarillo en híbridos trilineales, Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 859–872. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1696>
- MacRobert, J. F., Setimela, P. S., Gethi, J., & Worku, M. (2014). *Manual de producción de semilla de maíz híbrido*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/16849/57179.pdf>
- Medina-Hoyos, A., Narro-León, L. A., & Chávez-Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291–299. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
- Moreyra Muñoz, J. C. (2022). *Observatorio de COMMODITIES - Maíz amarillo duro* (Boletín Trimestral No. 04-20221). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://bit.ly/3Q37v7I>
- Owusu, G. A., Nyadanu, D., Owusu-Mensah, P., Adu Amoah, R., Amissah, S., & Danso, F. C. (2018). Determining the effect of genotype x environment interactions on grain yield and stability of hybrid maize cultivars under multiple environments in Ghana. *Ecological Genetics and Genomics*, 9, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2018.07.002>
- Quiroga-Cardona, J. (2019). Comportamiento del rendimiento y frecuencia en el tamaño de la semilla F1 de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la pérdida de hojas en el despanojado de líneas parentales. *Orinoquia*, 23(1), 85–91. <https://doi.org/10.22579/20112629.545>
- Rebolloza, H., Castillo, A., Carapia, V. E., Andrade, M., Villegas, O. G., Núñez, M. E., Suárez, R., & Perdomo, F. (2016). Estimación de parámetros genéticos y selección de líneas S1 en una población segregante de maíz tropical. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), 1893–1904. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.100>
- Rezende, W. S., Beyene, Y., Mugo, S., Ndou, E., Gowda, M., Sserumaga, J. P., Asea, G., Ngolinda, I. G., Jumbo, M., Oikeh, S. O., Olsen, M., Borén, A., Cruz, C. D., & Prasanna, B. M. (2019). Performance and yield stability of maize hybrids in stress-prone environments in Eastern Africa. *The Crop Journal*, 8(1), 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.08.001>
- RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. R Foundation. <http://www.rstudio.com/>
- Sánchez Arizo, V. H., & Fernández Sastre, J. (2020). El efecto de los paquetes tecnológicos en la productividad del maíz en Ecuador. Problemas Del Desarrollo. *Revista Latinoamericana De Economía*, 51(203), 85–110. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2020.203.69527>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002, diciembre 31). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, *Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. Diario Oficial la Federación. <https://bit.ly/3GxxcZu>

- Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. (2009). *Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad – Maíz código UPOV: ZEAAA_MAY – Zea mays L.* <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg002.pdf>
- United States Foreign Agricultural Service. (2022). *Corn 2022 world production.* <https://bit.ly/3UJoEnX>
- Vasco Medina, A., Saenz Morales, C., Vasco Mora, S., & Vasco Mora, D. (2017). Comportamiento agronómico y evaluación económica de híbridos de maíz cristalino duro (*Zea mays L.*) en tres zonas agroecológicas del Litoral ecuatoriano. *Siembra*, 4(1), 66–75. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.501>
- Vélez-Torres, M., García-Zavala, J. J., Lobato-Ortiz, R., Benítez-Riquelme, I., López-Reynoso, J. J., Mejía-Contreras, J. A., & Esquivel-Esquivel, G. (2018). Estabilidad del rendimiento de cruza dialélicas entre líneas de maíz de alta y baja aptitud combinatoria general. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(2), 167–175. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.167-175>
- Zambrano, C. E., & Andrade Arias, M. S. (2021). Productividad y precios de maíz duro pre y post Covid-19 en el Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 143–150. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2152>