



AVANCE GENÉTICO MEDIANTE SELECCIÓN RECURRENTE DE FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS MAZORCA POR SURCO, EN MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays*), EN TROPICO †

[GENETIC ADVANCE THROUGH RECURRENT SELECTION OF HALF-SIBLING FAMILIES COB PER FURROW, IN HARD YELLOW CORN (*Zea mays*), IN THE TROPICS]

Percy Díaz-Chuquizuta^{1*}, Teófilo Wladimir Jara-Calvo³, Héctor Manuel Campos-Amasifuen¹, Ofelia Andrea Valdes-Rodriguez⁴ and Edison Hidalgo-Melendez²

¹Estación Experimental Agraria Pucallpa. Dirección de Desarrollo Tecnológico Agraria. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Avenida Centenario KM. 4.00 - Sede Principal Pucallpa, Coronel Portillo, Ucayali 25002. Perú.

Email: pdiaz023@gmail.com

²Estación Experimental Agraria El Porvenir. Dirección de Desarrollo Tecnológico Agraria. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Carretera Fernando Belaunde Terry Km 14.5, Juan Guerra, San Martín 22200, Perú.

³Estación Experimental Agraria Andenes. Dirección de Desarrollo Tecnológico Agraria. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Av. Micaela Bastidas N°314, Cusco, Cusco 08002, Perú

⁴Colegio de Veracruz, Carrillo Puerto no. 26, Xalapa, Ver. 91000, México

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Corn (*Zea mays* L.) is an allogamous plant in constant improvement through various selection methods, starting with mass selection towards the genetic improvement of populations. **Objective:** To evaluate the genetic advance in the Marginal 28T corn variety, using the recurrent selection method of ear-by-furrow half-siblings in the tropics. **Methodology:** Two selection periods (1996-2000 and 2018-2022) of the genetic core of the Marginal 28T variety were compared. With the remaining seeds from the period 2018-2022, performance evaluation plots were established in a randomized complete block design, and they were compared with the results reported in the period 1996-2000; To find out if there have been varietal changes since 1984, the year the variety was released, seeds from 2022 were used in five locations. **Results:** Between the genetic seed core selection periods 1996-2000 and 2018-2022 of Marginal 28T corn, seed yield improved 0.75 t·ha⁻¹, with a genetic gain of 0.042 t·ha⁻¹·year⁻¹. The evaluation of the agronomic performance of the genetic seed revealed a 6-day reduction in flowering, with an increase in grain yield of 0.86 t·ha⁻¹. The varietal characterization showed uniformity in key characteristics such as grain texture and notable changes in grain color from reddish yellow to orange-yellow, and an improvement in commercial grain yield, from 3.50 t·ha⁻¹ in 1984 to 5.57 t·ha⁻¹ in 2022. **Implications:** The importance of the continuous use of the recurrent selection method of ear-by-furrow half-sibling families is highlighted to maximize the yield and varietal stability of hard yellow corn cultivation in the tropics. **Conclusion:** The Marginal 28T corn variety has been genetically improved in yield and grain color since its release as an open-pollinated variety in 1996.

Key words: Selection; corn; variety; yield; Marginal 28T.

RESUMEN

Antecedentes. El maíz (*Zea mays* L.) es una planta alogama en constante mejoramiento mediante diversos métodos de selección, comenzando con la selección masal hacia la mejora genética de poblaciones. **Objetivo:** Evaluar el avance genético en la variedad de maíz Marginal 28T, utilizando el método de selección recurrente de medios hermanos mazorca por surco en el trópico. **Metodología:** Se comparó dos periodos de selección (1996-2000 y 2018-2022) del núcleo genético de la variedad Marginal 28T. Con las semillas remanentes del periodo 2018-2022, se establecieron parcelas de evaluación rendimiento en un diseño de bloques completos al azar, y se compararon con los resultados reportados en el periodo 1996-2000; para conocer si existió cambios varietales

† Submitted June 20, 2024 – Accepted April 25, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5698>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = P. Díaz-Chuquizuta: <http://orcid.org/0000-0002-9893-5482>; T.W. Jara-Calvo: <http://orcid.org/0000-0001-9288-7769>; H.M. Campos-Amasifuen: <http://orcid.org/0000-0002-0959-1447>; O.A. Valdes-Rodriguez: <http://orcid.org/0000-0002-3702-6920>; E. Hidalgo-Meléndez: <http://orcid.org/0000-0003-4345-6668>

desde 1984 año de liberación de la variedad, se utilizó las semillas del año 2022, en cinco localidades. **Resultados:** Entre los periodos de selección de núcleo de semilla genética 1996-2000 y 2018-2022 del maíz Marginal 28T, el rendimiento de semilla mejoró $0.75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, con una ganancia genética de $0.042 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. La evaluación del rendimiento agronómico de la semilla genética reveló una reducción de 6 días en la floración, con un aumento en el rendimiento de grano de $0.86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. La caracterización varietal mostró uniformidad en características clave como textura de grano y cambios notables en el color del grano de amarillo rojizo a amarillo naranja, y una mejora en el rendimiento de grano comercial, de $3.50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en 1984 a $5.57 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en 2022. **Implicaciones:** Se resalta la importancia del uso continuo del método de selección recurrente de familias de medios hermanos mazorca por surco para maximizar el rendimiento y la estabilidad varietal del cultivo del maíz amarillo duro en trópico. **Conclusión:** La variedad de maíz amarillo duro Marginal 28T ha demostrado un avance genético en relación con su rendimiento y color de grano desde su liberación como variedad de polinización libre en 1996. **Palabras clave:** Selección; medios hermanos; variedad; rendimiento; Marginal 28T.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es una planta alógama, en constante mejoramiento, por diferentes métodos de selección empezando por la selección masal y la mejora genética de diversas poblaciones (Xing *et al.*, 2022; Montes, 2021; Hernández-Ramos *et al.*, 2016), siendo común lanzar al mercado variedades de polinización libre (VPL) mejoradas, cuyos rasgos, como color de grano, tipo de grano, altura de planta y mazorca o precocidad destacan sobre sus poblaciones originales, pero que mantienen su amplia diversidad genética (Espitia *et al.*, 2021). Las variedades de polinización libre mejoradas tienen como ventaja su amplia adaptabilidad a condiciones ambientales y agronómicas, adversas, y la posibilidad que tiene el agricultor de usar su propia semilla durante varias campañas agrícolas, lo cual contribuye a disminuir los costos de producción, especialmente en zonas marginales (Biasutti *et al.*, 2021).

El concepto moderno de variedad se refiere a un conjunto diferenciado y estable de fenotipos relativamente uniformes. Una VPL se considera diferente si sus características agronómicas importantes son uniformes y estables a lo largo del tiempo en su zona de adaptación, y si estas características la distinguen de otras variedades conocidas, definiendo así su identidad (CIMMYT, 1999). Este es el caso de la variedad Marginal 28T (M28T), que fue liberada en 1984 por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Perú. Desde entonces, han transcurrido 40 años, y esta variedad sigue vigente en el mercado como una alternativa para aumentar el rendimiento de maíz en el trópico. La M28T es un compuesto que resulta del cruzamiento inter e intra poblacional de los cultivares Across 7728, Ferke 7928 y La Máquina 7928, provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La M28T se caracteriza por una altura de planta de 2.00 a 2.20 m, una floración entre 58 y 60 días, y una maduración entre 110 y 120 días después de la siembra, con estigmas y panojas con pigmentación antocianica. Su rendimiento promedio es de $4.0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a nivel comercial y de $8.0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en condiciones experimentales, adaptándose a las condiciones

tropicales de la selva y la costa norte del Perú (Jara *et al.*, 2003). Esta variedad ha demostrado ser muy uniforme y ha gozado de una gran aceptación entre los agricultores, gracias a sus ventajas adaptativas, su estabilidad y la facilidad para el mantenimiento y producción de su semilla por parte de los propios agricultores durante varias campañas agrícolas (Biasutti *et al.*, 2021).

Desde el lanzamiento del M28T como variedad en 1984, su proceso de mantenimiento ha mantenido el siguiente patrón: Se definió que el número de plantas o mazorcas que representan en forma apropiada a la variedad es 300, asimismo se determinó que una mazorca debería ser sembrada en un surco de 5.0 m de longitud. Toda selección en las diferentes fases de mantenimiento y producción de semilla se centra en la identificación de las plantas y mazorcas más representativas de la variedad, evitando los efectos adversos de la selección y la endogamia.

La semilla seleccionada de las 300 mazorcas del ciclo anterior, se siembra de manera aislada bajo el sistema mazorca por surco, con un compuesto balanceado, esta siembra se realiza en proporción de 4 (cuatro surcos de familias recombinadas):1 (un surco de compuesto balanceado, formado por cantidades iguales de semilla de todas las mazorcas). Se desespigan todas las familias recombinadas y 20 a 30 % de las plantas del compuesto balanceado (plantas fuera de tipo). Se seleccionan 50 a 60 familias en 50 % de las hileras y se separan nuevamente 300 mazorcas. De las 300 mazorcas se guardan por separado entre 50 y 75 semillas de cada mazorca para usarlas como nuevas familias recombinadas de semilla original. El mantenimiento de la identidad fenotípica varietal bajo este sistema permite monitorear las características propias de las variedades y, mediante la recombinación y selección de familias y mazorcas típicas en cada campaña agrícola, se puede realizar el mejoramiento incrementando el rendimiento (CIMMYT, 1999).

Hasta el momento, no se ha publicado información alguna de los avances en el mejoramiento de las características descritas del M28T a través del tiempo, mediante el método de selección recurrente descrito y utilizado hasta la fecha. En este sentido, el

objetivo fue evaluar el avance genético en la variedad de maíz Marginal 28T, utilizando el método de selección recurrente de medios hermanos mazorca por surco en el trópico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Región de estudio

Se realizaron tres estudios, el primero fue la comparación entre dos periodos de selección 1996-2000 y 2018-2022, en el redimiendo de semillas genéticas, el segundo las de evaluación del rendimiento agrónomicos de semilla genética en la producción de grano de estos periodos. Las parcelas fueron instaladas en los campos de investigación de la Estación Experimental Agraria (EEA) "El Porvenir" del INIA, Perú. Esta estación se encuentra en el distrito de Juan Guerra, provincia y región de San Martín, en la ubicación geográfica 6° 35' 35" de latitud sur (S) y 76° 19' 21" de longitud oeste (O), a una altitud de 201 m sobre el nivel del mar (msnm). El tercero considero la caracterización varietal, realizado en "El Porvenir" y se replicó en cuatro localidades adicionales ubicadas en San Pablo (6° 47' 32" S y 76° 35' 23" O), Santa Rosa (6° 45' 40" S y 76° 35' 39" O) y Tingo de Ponasa (6° 55' 50" S y 76° 15' 10" O), localizadas en la zona de vida de bosque seco tropical de la región San Martín (Sabino et al., 2019) y en el Centro Experimental Pacacocha de la EEA Pucallpa (8° 20' 26" S y 74° 33' 06" O), ubicada en una zona de transición entre el bosque

húmedo premontano tropical y el bosque húmedo tropical (Sabino et al., 2019).

Material Experimental

Se utilizó la semilla del núcleo genético (NSG) del periodo de selección 2018-2022 para comparar el avance genético con los resultados de selección de hace 18 años del periodo 1996-2000. La semilla remanente de los NSG del periodo 2018-2022, también conocida como semilla genética, se utilizó para las parcelas de evaluación de rendimiento, mientras que la semilla genética del 2022 se utilizó para realizar la caracterización varietal (Figura 1).

Condiciones climáticas y edáficas durante la investigación

La evaluación de caracterización varietal se realizó tomando en cuenta las condiciones climáticas y edáficas de cada localidad. Los datos meteorológicos se tomaron de las estaciones climáticas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la fertilidad del suelo se llevó a cabo un muestreo en las parcelas experimentales a una profundidad de 20 cm, utilizando un barreno de 50 cm en forma de "T". De cada parcela se obtuvo 1.0 kg de muestra. Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), en la provincia y región San Martín. Las características climáticas y físico-químicas del suelo de este experimento se presentan en las Tablas 1 y 2.

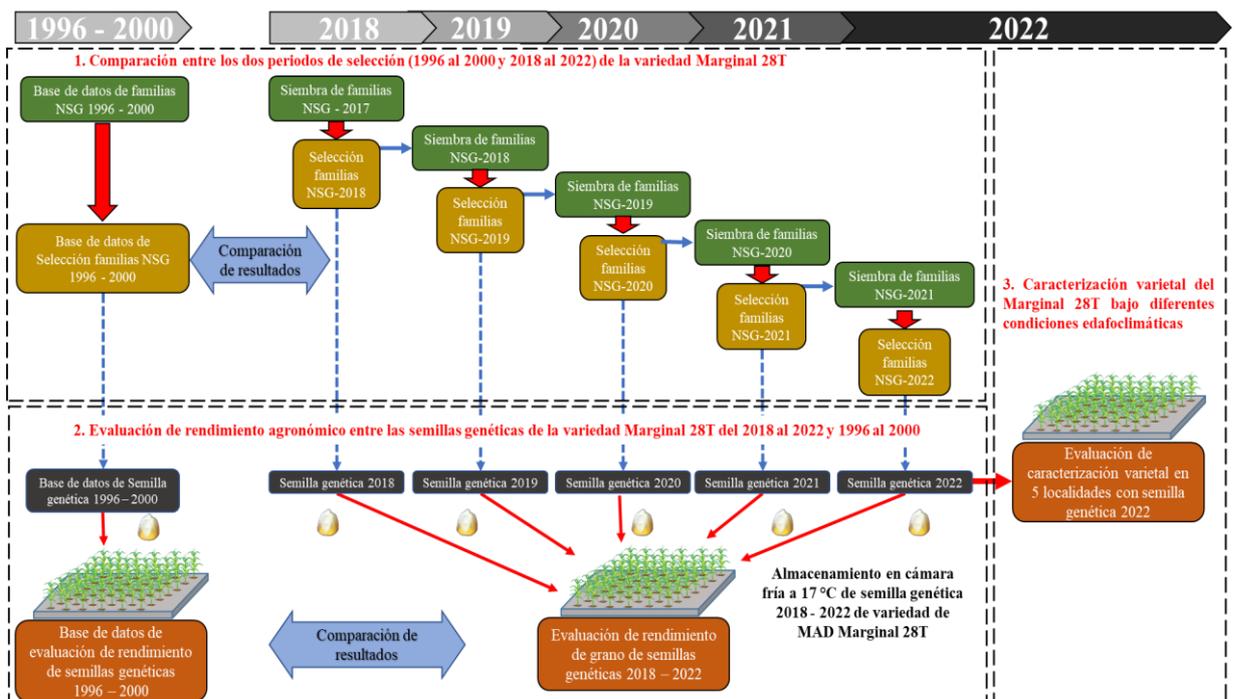


Figura 1. Proceso de obtención del núcleo de semilla genética en cada año y semilla genética de maíz amarillo duro de la variedad Marginal 28T. NSG: semilla del núcleo genético, MAD: maíz amarillo duro

Tabla 1. Condiciones climáticas en las localidades de estudio en el año 2022.

Localidad	Campaña 2022	Temperatura Promedio (°C)	Precipitación acumulada (mm)
El Porvenir	Julio a noviembre	26.1	328.5
San Pablo	Mayo a agosto	26.9	399.9
Santa Rosa	Julio a noviembre	27.0	615.2
Tingo de Ponasa	Junio a octubre	26.9	299.6
Pacacocha	Abril a julio	26.8	403.1

Tabla 2. Condiciones físico-químicas del suelo en las localidades de estudio en el año 2022.

Localidades	Textura	pH	CE dS·cm ⁻¹	M.O. %	N %	P mg·kg ⁻¹	K mg·kg ⁻¹	Ca cmol·kg ⁻¹	Mg cmol·kg ⁻¹
Santa Rosa	Franco	7.83	0.12	2.76	0.12	5.62	191.10	20.85	1.46
Tingo de Ponasa	Franco	8.02	0.16	2.26	0.10	6.94	378.30	30.67	2.43
El Porvenir	Arcilloso	6.57	0.14	2.27	0.11	1.96	464.10	15.56	2.84
San Pablo	Franco-arenoso	7.20	0.15	1.60	0.09	6.00	287.00	26.48	4.17
Pacacocha	Franco arcilloso	6.96	0.17	2.11	0.11	16.40	117.00	19.35	2.59

pH: acidez del suelo; **CE:** conductividad eléctrica; **MO:** materia orgánica; **N:** nitrógeno; **P:** fósforo disponible; **K:** potasio disponible; **Ca:** calcio intercambiable; **Mg:** magnesio intercambiable

Manejo del experimento

Se llevó a cabo el siguiente manejo: la siembra fue manual, sembrando 3 semillas por punto de siembra. A los 15 días después de la siembra se eliminaron las plantas indeseables, dejando 2 plantas por hoyo de siembra, el distanciamiento fue de 0.8 m entre surco × 0.4 m entre hoyo de siembra, usado para alcanzar una densidad de 62 500 plantas por ha. Antes de la siembra se trató la semilla con insecticida a base de tiodicarb + imidacloprid, en dosis de 15 mL·kg⁻¹ de semilla, a fin de prevenir el ataque del gusano “cogollero” *Spodoptera frugiperda*. Se fertilizó con 180-150-120 kg·ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O. La primera fertilización ocurrió entre los estados V3 y V4, aplicando el 40% del nitrógeno y todo el fósforo y potasio. La segunda fertilización se llevó a cabo entre V6 y V8, aplicando el 60% restante del nitrógeno. Se realizó una aplicación, de insecticida chlorantraniliprole, a razón de 5 cc·20 L⁻¹

Se realizaron de 4 a 5 riegos por gravedad complementarios por cuatro horas entre la siembra y la etapa R4 (grano pastoso), hasta lograr la capacidad de campo. El control de malezas se realizó manualmente aplicando herbicida a base de nicosulfuron, 50 mL·20 L⁻¹ de agua, durante la etapa de crecimiento vegetativo V6. La cosecha se realizó en forma manual a los 120 días, previa identificación del estado de madurez fisiológica del grano, cuando en la zona de inserción del grano a la mazorca se forma una capa negra o marrón oscuro llamada “capa negra”.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloque completo al azar entre los dos periodos de selección 1996 al 2000 y 2018 al 2022 y análisis de regresión para observar avance genético.

Para la evaluación de rendimiento agronómico se utilizó el diseño de bloques completos al azar con análisis jerárquico con dos factores, con cuatro repeticiones, no se tuvo testigo ya que la comparación se hizo entre producción de grano cada año. Cada unidad experimental estuvo compuesta de 4 surcos de 5.0 m de largo, utilizando un arreglo espacial de 0.8 m de separación entre hileras y entre puntos de siembra de 0.40 m. Se evaluaron los dos surcos centrales. Los resultados se compararon con las evaluaciones de rendimiento de los años 1996 al 2000.

Para la caracterización varietal y su comportamiento en 5 localidades se utilizó estadística descriptiva, estimado los valores máximos, mínimos, coeficiente de variación y desviación estándar, no se utilizó testigo ya que los resultados fueron comparados con el reporte varietal de Jara *et al.* (2013). Para conocer el comportamiento agronómico en las 5 localidades se utilizó el diseño de bloques completos al azar, con 4 repeticiones (dentro de la localidad), y 5 localidades como tratamientos, siendo el testigo la localidad de El Porvenir donde fue liberada a variedad Marginal 28T en 1984. La unidad experimental estuvo compuesta de 4 surcos de 5.0 m de largo, cada uno a 0.8 m de distancia entre sí.

Variabes a evaluar

Las evaluaciones se realizaron en las plantas y mazorcas de los dos surcos centrales: Los días a la floración masculina (FM) y femenina (FF) se registraron cuando el 50% de las plantas alcanzaron el estado VT (comienza la dispersión del polen) y R1 (cuando los estigmas están visibles). La altura de la planta (AP) se midió desde el suelo hasta la inserción de la panoja y la altura de la mazorca (AMz) de la mazorca desde el suelo hasta la inserción de la mazorca superior, ambos con la ayuda de un flexómetro de 8 m (1 mm de precisión). El

rendimiento (RG) en t·ha⁻¹, se calculó con el peso de campo (PC kg) de la cosecha (en R6 o madurez fisiológica) de los dos surcos centrales de cada unidad experimental, con una balanza de reloj (precisión 0.50 kg) y empleando la fórmula de Díaz-Chuquizuta *et al.* (2023), representada en las ecuaciones 1 y 2:

$$RG = \frac{\left(\frac{10000}{7.68}\right) \times PCC \times ID \times Fh}{1000} \quad (1)$$

$$Fh = \frac{(100 - \% \text{ humedad de cosecha})}{86} \quad (2)$$

Donde:

Ecuación (1): RG es el rendimiento en t·ha⁻¹; 10 000 son los m² de una hectárea; 7.68 es la superficie cosechada de la unidad experimental (m²); PC es el peso de campo de mazorcas cosechadas por parcela; ID es el índice de desgrane (peso de grano/peso de mazorca); Fh es el factor de corrección por humedad ajustado al 14% (Ecuación 2); y 1000 es el factor de conversión en ha⁻¹.

Ecuación (2): 86 es la constante para estimar el rendimiento de grano comercial con humedad del 14 %.

Para evaluar la caracterización varietal cualitativa, como el color de la lámina foliar, los nudos y entrenudos del tallo, y la presencia de antocianinas en estigmas, anteras y elotes, así como la caracterización cuantitativa, se consideraron el peso de mazorca (PMz) y de 100 granos (P100G), utilizando una balanza digital con una precisión de 0.01 g., el diámetro de las mazorcas (DMz) con un vernier digital con una precisión de 0.01 mm, el número de hileras por mazorca (NH/Mz) y el número de granos por hilera (NG/H) mediante conteo manual, y se evaluaron la textura y color del grano, de acuerdo a los descriptores varietales de Carballo y Ramírez (2010), Carballo *et al.* (2014), y la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2023).

Análisis estadístico

Se realizó la prueba de normalidad (W) de Shapiro-Wilks (Royston, 1982), y de homocedasticidad de Levene para determinar la igualdad varianzas de cada variable (Herrera *et al.* 2012), posteriormente se realizó un análisis de varianza para identificar las significancias en el experimento y la comparación de medias de Tukey al 5 %. Para determinar el avance genético de las características varietales de la variedad Marginal 28T se realizó análisis de regresión lineal y la ganancia genética. El análisis estadístico de los datos se ejecutó con el paquete estadístico Rstudio (2024) v. 4.4 y la librería Agricolae (de Mendiburu, 2023).

RESULTADOS

Comparación entre los dos periodos de selección (1996 al 2000 y 2018 al 2022) de la variedad Marginal 28T

Se encontró que los datos cumplieron con la distribución de normalidad y la homogeneidad de varianzas (*P*-valor mayor a 0.05). Entre las medias de los periodos de selección 1996 al 2000 (periodo P1) y del 2018 al 2022 (periodo P2), existe diferencias significativas para altura de planta y rendimiento de grano, mientras que entre las medias de altura de mazorca no existe diferencias (Tabla 3), el mismo que se afirma con la prueba de rango de tukey al 0.05, donde se aprecia que el grupo P2 destaca con mayor rendimiento de semilla genética que el P1.

La ganancia genética entre los periodos de selección distanciados en 18 años demuestra que en ese tiempo se logró bajar la altura de planta y un aumento en el rendimiento (Tabla 4), mientras que en altura de mazorca se logró una mínima disminución entre los periodos, el cual se aprecia en la figura 2, que presenta las tendencias lineales de la regresión.

Tabla 3. Análisis de varianza y comparación de medias de altura de planta, altura de mazorca y rendimiento entre dos periodos de selección 1996-2000 y 2018-2022 de la variedad de maíz Marginal 28T.

Variable	Grupo	W*	Levene	P-valor Grupo	P-valor Ciclo	CME	CV	Media
AP (cm)	P1 (1996-2000) P2 (2018-2022)	0.73; p=0.001 *	0.366 ns	0.0001 **	0.967 ns	1.08	0.49 %	216.81 ± 0.86 a 206.26 ± 0.68 b
AMz (cm)	P1 (1996-2000) P2 (2018-2022)	0.90; p=0.369 ns	0.121 ns	0.5341 ns	0.503 ns	1.48	0.98 %	124.15 ± 1.68 a 123.63 ± 0.34 a
RG (t·ha ⁻¹)	P1 (1996-2000) P2 (2018-2022)	0.98; p=0.951 ns	0.932 ns	0.0019 **	0.067 ns	0.03	2.63 %	5.77 ± 0.27 b 6.52 ± 0.30 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (*p* > 0.05). AP: Altura de planta; AMz: Altura de mazorca; RG: Rendimiento de grano; CME: Cuadrado medio del error, CV: Coeficiente de variabilidad, *P*-valor: Nivel de significancia, ns: no significativo, *: Significancia al 0.05, **: Significancia al 0.01. W*: Shapiro-Wilks

Tabla 4. Ganancia genética estimada para las variables altura de planta, mazorca y rendimiento entre dos grupos de selección recurrente (1996-2000 y 2018-2022) en la variedad de maíz Marginal 28T.

Variable	Media G1 (1996-2000)	Media G2 (2018 - 2022)	Ganancia Genética
AP (cm)	216.81	206.26	-0.586 cm·año ⁻¹
AMz (cm)	124.15	123.63	-0.029 cm·año ⁻¹
RG (t·ha ⁻¹)	5.77	6.52	0.042 t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹

AP: Altura de planta; AMz: Altura de mazorca; RG: Rendimiento de grano.

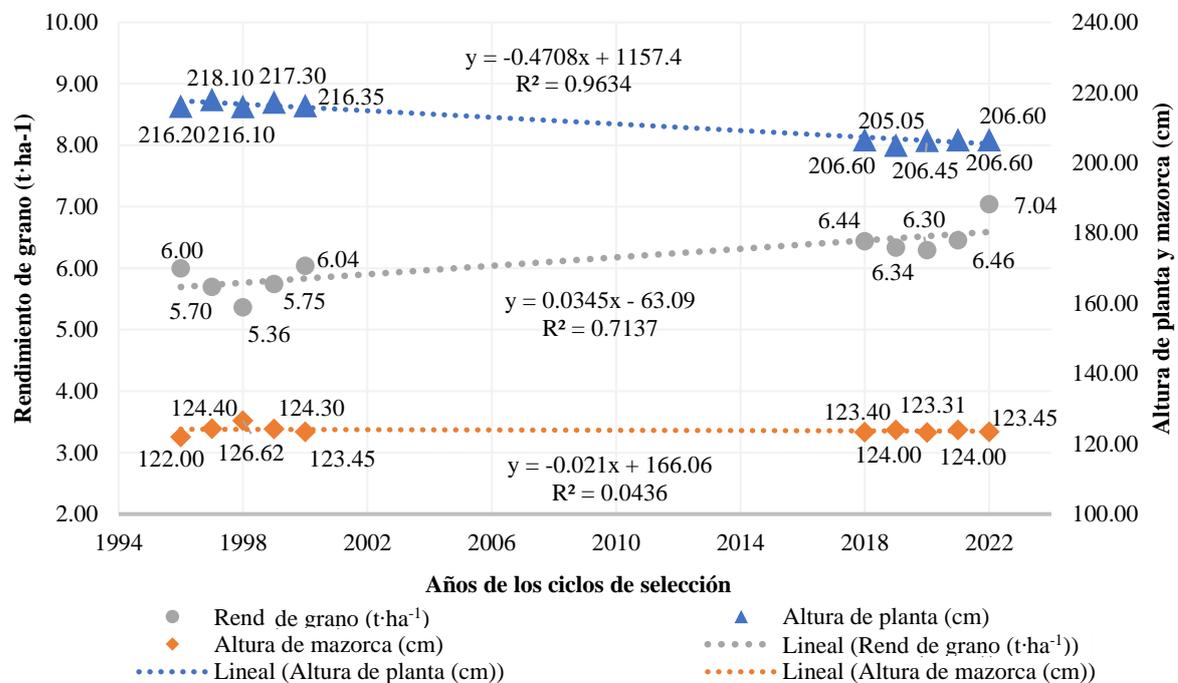


Figura 2. Dispersión de los valores tendencia lineal entre los valores de los dos periodos de selección 1996 a 2000 y 2018 a 2022 de la variedad Marginal 28T

Parcelas de evaluación de rendimiento agronómico entre las semillas genéticas de la variedad Marginal 28T del 2018 al 2022 y 1996 al 2000

Se observaron diferencias significativas en el comportamiento de la variedad de maíz Marginal 28T entre las semillas seleccionadas de los periodos 1996-2000 y 2018-2022 en todas las variables analizadas (Tabla 5). Esto indica que la selección recurrente realizada en estos dos periodos ha influido notablemente en características clave del maíz, como los días a la floración, la altura de la planta y de la mazorca, así como en el rendimiento de grano por hectárea. En particular, dentro del periodo 1996-2000, se encontraron diferencias significativas entre cada año evaluado, con algunos años en los que las plantas superaron la altura promedio de 209.50 cm, destacando especialmente las semillas del año 2000, cuya altura media fue de 232.00 cm.

Al comparar las medias de las semillas genéticas de los periodos 1996-2000 y 2018-2022 (Tabla 6), se observa que, tras 18 años de selección, la floración masculina y femenina ha disminuido en 6 días,

mientras que la altura de la planta y de la mazorca ha aumentado en 18.9 cm y 14.3 cm, respectivamente. Además, el rendimiento de grano se incrementó en 0.86 t·ha⁻¹ durante el mismo periodo. Estos resultados indican que las prácticas de selección recurrente de medios hermanos mazorca por planta realizadas en el núcleo de la semilla genética han tenido un impacto positivo en el rendimiento agronómico de la variedad de maíz Marginal 28T.

Caracterización varietal de Marginal 28T bajo diferentes condiciones edafoclimáticas

Las características cualitativas evaluadas en las cinco localidades, según UPOV (2023), muestran una uniformidad notable. En todas las localidades, el color verde de la lámina de las hojas es predominante en el 100% de las plantas, al igual que el color verde claro de los nudos y entrenudos, y el color blanco del elote. Sin embargo, en cuanto al color de los estigmas, se observó un 3.33% de plantas atípicas, mientras que un 2.77% de las plantas presentaron anteras sin pigmentación antocianina, lo que indica cierta variabilidad.

Tabla 5. Análisis de varianza de la evaluación del rendimiento de la variedad de maíz Marginal 28T proveniente de la semilla genética de la selección 1996 al 2000 y 2018 al 2022.

Periodos (1996 al 2000 y 2018 al 2022)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AMz (cm)	RG (t·ha ⁻¹)
<i>P</i> -valor (Periodos)	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	0.0001 **	<0.0001**
<i>P</i> -valor (Periodo>Años)	0.306 ns	0.118 ns	0.006**	0.018 ns	0.051 ns
CMe	6.10	4.96	121,40	96.06	0.03
CMt	302.5	330.62	3459.60	2016.40	7.29
CV (%)	4.43	3.86	5.04	8.43	2.89

FM: Floración masculina; FF: Floración femenina, AP: Altura de planta; AMz: Altura de mazorca; RG: Rendimiento de grano, CME: Cuadrado medio del error, CV: coeficiente de variabilidad, *P*-valor: Nivel de significancia, ns: no significativo, *: Significancia al 0.05, **: Significancia al 0.01.

Tabla 6. Comparación de medias de variables agronómicas de la semilla genética procedente de dos periodos de selección 1996-2000 y 2018 -2022 de la variedad M28T.

Variabes	Grupo	Medias	DMS
FM (días)	P1 (1996-2000)	58.45 ± 1.70 a	1.6025
	P2 (2018-2022)	52.95 ± 1.05 b	
FF (días)	P1 (1996-2000)	60.60 ± 1.67 a	1.4453
	P2 (2018-2022)	54.80 ± 1.06 b	
AP (cm)	P2 (2018-2022)	228.10 ± 6.66 a	7.1492
	P1 (1996-2000)	209.50 ± 13.05 b	
AMz (cm)	P2 (2018-2022)	123.35 ± 4.59 a	6.3592
	P1 (1996-2000)	109.05 ± 15.09 b	
RG (t·ha ⁻¹)	P2 (2018-2022)	6.12 ± 0.18 a	0.10661
	P1 (1996-2000)	5.26 ± 0.19 b	

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

FM: Floración masculina; FF: Floración femenina, AP: Altura de planta; AMz: Altura de mazorca; RG: Rendimiento de grano, DMS: Diferencia mínima significativa.

El análisis de varianza (Tabla 8) reveló diferencias significativas en las características cuantitativas varietales del maíz Marginal 28T entre las cinco localidades (tratamientos), sugiriendo que las condiciones locales influyen en aspectos específicos del crecimiento del maíz. No obstante, no se encontraron diferencias significativas en floración femenina y masculina, peso de 100 granos, ni en el color y textura; lo que indica que estos parámetros son estables a través de las distintas localidades, demostrando una buena adaptabilidad de la variedad. Sin embargo, se detectaron diferencias importantes en otras características cuantitativas presentes en la Tabla 9, lo que sugiere estar relacionado con factores ambientales específicos de cada sitio y con la disponibilidad de nutrientes, que permitieron potenciar el crecimiento y desarrollo de la planta, lo que subraya la importancia de seleccionar sitios de cultivo que maximicen el potencial genético de la variedad Marginal 28T.

La comparación entre las características varietales de Marginal 28T entre 1984 y 2022 (Tabla 10) revela tanto el mantenimiento como el avance genético en diversas características. Se destaca un cambio notable en el color del grano, que ha pasado de un tono rojizo a un amarillo naranja, mientras que la

textura se ha mantenido constante, lo que sugiere estabilidad en esta propiedad. Además, se ha registrado un aumento en el peso promedio de 100 granos, con un rango de diferencia de 2.28 g a 6.25 g lo que indica mejoras en la calidad y densidad de los granos a lo largo del tiempo.

La altura de planta ha mostrado un rango más amplio, por otro lado, la altura de la mazorca ha disminuido en promedio, posiblemente debido a una reorganización en la estructura de la planta. El ciclo de floración ha presentado una leve reducción de 4 a 5 días.

Otras características, como el color de las hojas, tallos, estigmas, anteras y elote, no han mostrado cambios significativos, lo que indica que los rasgos fenotípicos originales se han conservado a lo largo del tiempo. Sin embargo, se ha observado una ligera disminución en el número de hileras por mazorca.

Finalmente, el rendimiento comercial ha experimentado una mejora sustancial, con un incremento de 2.07 t·ha⁻¹, lo que sugiere que la selección en el tiempo ha permitido que la variedad Marginal 28T alcance un mayor potencial productivo en las condiciones actuales.

Tabla 8. Análisis de varianza de caracterización de las variables cuantitativas de la variedad Marginal 28T de la semilla genética del 2022 en cinco localidades.

ANOVA	Características cuantitativas												
	FM (Días)	FF (Días)	AP (cm)	AMz (cm)	LMz (cm)	DMz (cm)	PMz (g)	N° H/Mz	N° G/H	P100G (g)	RG (t·ha ⁻¹)	Color	Tx
CME	0.90	0.86	74.98	105.35	0.47	0.01	174.68	0.56	2.11	10.71	0.01	0.10	0.58
Media	53.90	55.80	233.00	131.00	18.38	5.19	216.8	15.69	39	50.8	5.57	3.00	2.25
CV	1.76	1.66	4.01	9.23	3.97	2.41	7.52	5.05	4.04	9.29	1.99	11.29	35.27
P-valor	0.071	0.410	0.001	<0.001	0.006**	<0.001	0.004	0.039	0.002	0.219	0.0269	0.053	0.878
	ns	ns	**	**	**	**	*	**	**	Ns	*	ns	ns

CME: Cuadrado medio del error, CV: coeficiente de variabilidad, P-valor: Nivel de significancia, ns: no significativo, *: Significancia al 0.05, **: Significancia al 0,01. FM: Floración masculina, FF: Floración femenina, AP: Altura de planta, AMz: Altura de mazorca, DMz: diámetro de mazorca, PMz: peso de mazorca, H: número de hileras, G/H: Granos por hilera, P100G: peso de cien granos, RG: Rendimiento de grano. Tx: Textura de grano.

Tabla 9. Comparación de medias de las características varietales cuantitativas de la variedad de maíz amarillo duro Marginal 28T en cinco localidades.

Variables	Localidades				
	Pacacocha	Tingo de Ponasa	Juan Guerra (testigo)	Santa Rosa	San Pablo
FM (Días)	54.25±0.96 a	54.25±0.96 a	54.25±0.96 a	53.75±0.96 a	53.00±1.63 a
FF (Días)	56.25±0.96 a	56.00±0.82 a	56.00±0.82 a	55.75±0.96 a	55.00±1.41 a
AP (cm)	181.56±11.16 b	221.50±7.72 ab	231.00±5.29 ab	233.00±8.08 a	213.00±6.63 b
AMz (cm)	58.76±8.19 b	128.50±12.48 a	126.50±10.38 a	131.00±2.58 a	111.00±13.22 a
LMz (cm)	16.22±0.88 bc	16.06±0.07 c	17.74±0.41 ab	18.38±0.64 a	17.67±0.92 ab
DMz (cm)	4.73±0.10 b	4.45±0.07 c	4.58±0.23 bc	4.70±0.09 bc	5.19±0.14 a
PMz (g)	151.77±10.64 b	158.36±5.92 b	190.98±15.47 a	216.80±1.18 a	160.90±17.63 b
N° H/Mz	14.00±1.02 b	14.25±0.20 ab	15.56±0.94 ab	15.69±0.94 a	14.38±0.32 ab
N° G/H	30.50±1.29 b	36.25±1.26 a	37.25±0.50 a	39.00±2.16 a	36.50±1.00 a
P100G (g)	32.47±2.17 a	34.28±2.81 a	35.80±4.44 a	38.25±0.98 a	35.40± 3.79 a
RG (t·ha ⁻¹)	5.43±0.05 ab	5.33±0.14 b	5.57±0.12 a	5.47±0.09 ab	5.31±0.08 b

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales por la Prueba de Tukey ($P>0,05$)

FM: Floración masculina, FF: Floración femenina, AP: Altura de planta, AMz: Altura de mazorca, DMz: Diámetro de mazorca, PMz: Peso de mazorca, H/Mz: Número de hileras por mazorca, G/H: Granos por hilera, P100G: Peso de cien granos, RG: Rendimiento de grano.

Tabla 10. Comparación de las características varietales actuales de la variedad Marginal 28T, con respecto a la caracterización reportada en 1984.

Parte	Característica	M28T (1984) †	M28T (2022)
Grano	Color	Amarillo rojizo, con ligera capa crema	Amarillo Naranja
	Textura	Semi cristalino a semi dentado	Semi cristalino a semi dentado
Planta	Peso de 100 granos	30.00 a 32.00 g	32.28 a 38.25 g
	Altura de planta	200.00 a 220.00 cm	181.00 a 233.00 cm
	Altura de mazorca	125.00 a 135.00 cm	58.76 a 131.00 cm
	Días a la floración	58.00 a 60.00 dds	53.00 a 56.00 dds
	Días a la maduración	110.00 a 120.00 dds	110.00 a 120.00 dds
Hojas	Color de lamina	Verde	Verde
Tallo	Color de nudos y entrenudos	Verde claro	Verde claro
Flor	Estigmas	Antocianinas	Antocianinas
	Anteras	Antocianinas	Antocianinas
Mazorca	Color de elote	Blanco	Blanco
	Numero de hileras	12.00 a 18,00	14.00 a 16.00
Rendimiento	Comercial	3.50 t·ha ⁻¹	5.57 t·ha ⁻¹

† Fuente: Jara *et al.* (2003) dds: días después de siembra.

DISCUSIÓN

Comparación entre los dos periodos de selección (1996 al 2000 y 2018 al 2022) de la variedad Marginal 28T

Estos resultados destacan la eficacia de la selección recurrente de familias de medios hermanos mazorca por surco en la mejora del núcleo de semilla genética de la variedad Marginal 28T. Se ha logrado un aumento significativo en el rendimiento y una reducción en la altura de la planta y la mazorca a lo largo de los 18 años de implementación de esta estrategia. Esto demuestra la habilidad del método para elegir y establecer características agronómicas favorables, lo que permite la producción de cultivares más productivos y adaptados a las necesidades de producción actuales (Lagos *et al.*, 2020).

La selección recurrente ha sido esencial para la mejora continua de las poblaciones de maíz porque mejora características específicas y mantiene un avance genético sostenido. Como sugieren Macchi *et al.* (2010), este método permite la acumulación gradual de mejoras genéticas sin sacrificar la variabilidad necesaria para futuras selecciones. La consistencia de los resultados indica que este método de selección ha sido capaz de mantener la homogeneidad en las características seleccionadas al mismo tiempo que permite variabilidad en cada ciclo de selección, lo cual es esencial para el progreso genético a largo plazo (CIMMYT, 1999).

La relevancia de este método en programas de mejoramiento genético se confirma por la estabilidad de los atributos mejorados y la adaptabilidad de la población a diferentes condiciones ambientales y edáficas. Al lograr desviaciones estándar menores a ± 0.70 (CIMMYT, 1999), se asegura que las variaciones dentro de cada periodo de selección no sean excesivas, lo que garantiza un control adecuado de las características deseadas. Este control es fundamental para mantener la uniformidad del cultivo y la predictibilidad de su desempeño en el campo, especialmente para los agricultores que buscan maximizar la eficiencia y la rentabilidad de sus cultivos (Godfrey *et al.*, 2023).

Parcelas de evaluación de rendimiento agronómico entre los periodos de semilla genética del 2018 al 2022 y 1996 al 2000

Al analizar el rendimiento agronómico de la semilla genética entre los periodos de 1996-2000 y 2018-2022, se observó que, a lo largo de 18 años de selección, se lograron mejoras significativas en varias características de la variedad Marginal 28T. La selección recurrente de familias de medios hermanos mazorca por planta resultó ser efectiva para mantener la identidad varietal y mejorar la productividad del cultivo. Este método ha destacado

por su capacidad para acumular alelos favorables y mejorar las características deseadas del maíz a lo largo del tiempo (Lagos *et al.*, 2020; Macchi *et al.*, 2010).

Los avances genéticos alcanzados se reflejaron en un aumento del rendimiento y la estabilidad del cultivo en comparación con el periodo anterior (1996-2000). Esta estrategia ha permitido que la variedad Marginal 28T desarrolle genotipos más productivos y con mejores características morfológicas (Espinosa-Carrillo y Vallejo-Cabrera, 2020; Díaz-Ramírez *et al.*, 2021).

Además, es importante señalar el papel de las condiciones ambientales y de suelo del El Porvenir que fueron favorables para el crecimiento del maíz, lo que contribuyó a que los resultados de la selección muestren el potencial de rendimiento de la variedad Marginal 28T (Díaz *et al.*, 2022; Flores *et al.*, 2023).

Caracterización varietal de Marginal 28T bajo diferentes condiciones edafoclimáticas

Los resultados obtenidos muestran una notable adaptación a diferentes condiciones ambientales especialmente bajas precipitaciones por debajo de los 500 mm mínimos necesarios para el maíz (Miranda y Confalone, 2022) y de suelo poco fértil. Esto se refleja en la estabilidad de la mayoría de las características cualitativas y cuantitativas del grano, tales como el color, la textura y el peso de 100 granos. Esta estabilidad genética es fundamental para el cultivo de maíz en diversas regiones, ya que garantiza la consistencia en la producción y la calidad del grano, sin importar las variaciones locales en el suelo y el clima (Morales-Ruiz y Díaz-López, 2020).

El cambio en el color del grano de amarillo rojizo con una ligera capa crema a un amarillo naranja ha sido resultado de un proceso de selección dirigido a satisfacer las demandas del mercado, especialmente de la industria avícola y porcina, que prefieren maíces de color amarillo a naranja debido a su mejor digestibilidad y mayor contenido de luteína y zeaxantina (Salinas *et al.*, 2008). Estas características son particularmente importantes considerando que el consumo nacional de carne de pollo ha aumentado un 150 % desde el año 2000 (Bravo-Martínez *et al.*, 2022; Chávez *et al.*, 2022).

Por otro lado, la variabilidad observada en algunas características cuantitativas, como la altura de planta y mazorca, podría estar relacionada con la disponibilidad de nutrientes y la retención de humedad en los distintos tipos de suelo evaluados. Esto subraya la importancia de seleccionar adecuadamente los sitios de cultivo para maximizar el potencial genético, en línea con lo reportado por Guamán *et al.* (2020) y Barandiarán (2020). La capacidad del M28T para adaptarse a condiciones de

baja precipitación y por ende baja humedad que impide la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Izquierdo y Arévalo, 2021), y a suelos con diferentes texturas físicas, algunos con baja estabilidad estructural por más presencia de arena, como el suelo franco arenoso (Arévalo et al., 2023); o arcillosos, que permiten la adición de nutrientes como nitrógeno (López et al., 2019); así como diferentes contenidos de nutrientes, como P y M.O., que permiten el crecimiento y rendimiento del maíz (Gavilánez-Luna y Gómez-Vargas, 2022; Pacheco-Sangerman et al., 2022), demostrando su potencial para ser cultivada en una amplia variedad de entornos.

Finalmente, las mejoras en el rendimiento y otras características agronómicas del M28T a lo largo del tiempo, como el incremento en el peso de los granos y la reducción del ciclo de floración, lo que podría señalar una adaptación a ciclos de cultivo más cortos, mientras que el ciclo de maduración ha permanecido constante, sugiriendo una estabilidad en la fase final del desarrollo del cultivo; esto evidencia el éxito de las estrategias de selección y mejora genética implementadas, como la selección mazorca por surco. Estos avances permiten que la variedad M28T se adapte mejor a las demandas del mercado y a las condiciones cambiantes de cultivo, asegurando su viabilidad como una opción de cultivo robusta y de alto rendimiento para los agricultores (Biasutti et al., 2021).

CONCLUSIÓN

El método de selección recurrente de medios hermanos mazorca por surco aplicado durante 18 años en la variedad Marginal 28T ha demostrado mejoras genéticas significativas, evidenciando un notable avance en sus características cuantitativas como un peso del grano superior y mayor rendimiento agronómico, así como en el color del grano, que ha cambiado de rojizo a amarillo naranja. Además, se ha mantenido la estabilidad de otras características cualitativas, como el color de la planta, flores y elote. La variedad continúa mostrando adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y de suelo, consolidándose como una opción de cultivo confiable y de alto rendimiento para los agricultores en diversas regiones del trópico.

Agradecimientos

Al equipo técnico del Programa Nacional de Investigación de Maíz de la Estación Experimental Agraria El Porvenir INIA y Estación Experimental Agraria Pucallpa, conformado por Melbin Mendoza Paredes, Pedro Mendoza Paredes, Marco Tenazoa Flores, Jorge Torres Paredes y Wenceslao Upiachihua Pinchi, por la contribución en la generación del presente documento en base las actividades programadas en el plan operativo institucional 2022-2023.

Funding. It was financed with resources from the National Institute of Agrarian Innovation through the projects: “Development and adoption of technologies and cultivars of high-productivity hard yellow corn adapted to coastal and jungle conditions”

Conflict of interests. The authors declare they have no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. The authors do not have statements in this sense for not applying.

Data availability. The data can be requested from the corresponding author.

Author contribution statement (CRediT). **P. Díaz-Chuquizuta-** Investigation, Supervision, Conceptualization, Writing - Original Draft. **E. Hidalgo-Meléndez-** Investigation, Methodology, Conceptualization, Validation. **TW. Jara-Calvo-** Writing - Review & Editing. **HM. Campos-Amasifuén-** Data Curation, Validation. **OA. Valdes-Rodriguez-** Data Curation, Formal analysis.

REFERENCES

- Arévalo, G. E., Sánchez-Amaya, J. and Guillén-Marquina, I., 2023. Estudio del contenido materia orgánica por dos métodos analíticos en suelos de Honduras. *Revista de Ciencias Ambientales*, [e-journal], 38(1), 17723. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.57-1.11>
- Barandiarán, M. A., 2020. *Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro*. [Libro electrónico]. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <https://hdl.handle.net/20.500.1295/5/1643> [Consultado el 15 de febrero de 2024]
- Bravo-Martínez, F. C., Pinedo-Taco, R. and Zorogastua-Cruz, P., 2022. Sustentabilidad económica del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en el valle de Pativilca, Perú. *Idesia (Arica)*, [e-journal], 40(2), pp. 95-101. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000200095>
- Biasutti, C. A., Bongianino, N. and Torre, M. V., 2021. Nuevas variedades de maíz (*Zea mays* L.) para la zona semiárida de la provincia de Córdoba, Argentina. *Agriscientia*, [e-journal], 38(1), pp. 141-150. <https://dx.doi.org/10.31047/1668.298x.v38.n1.32098>
- Carballo, A. and Ramírez, M. E., 2010. *Manual gráfico para la descripción varietal de maíz*

- (*Zea mays L.*). [Libro electrónico]. México: 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> [Consultado el 15 de febrero de 2024]
- Carballo, A., Ramírez, M. E., Coronado, R., Alcázar, J., Simental, F. J., Martínez, G., Estrada, J. A., Mejía, H., Virgen, J., Espinosa, A., Padilla, R., Castillo, F., López, A., and Pérez, G., 2014. *Guía técnica para la descripción varietal*. [Libro electrónico]. México: 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> [Consultado el 18 de diciembre de 2023]
- Centro Internacional de Mejoramiento en Maíz y Trigo [CIMMYT]., 1999. *Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de polinización libre*. [Libro electrónico]. Segunda edición. México, D.F: Programa de Maíz. CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/762/68195.pdf> [Consultado el 28 de diciembre de 2022]
- Chávez, A., Narro, L.A., Jara, T.W., Narro, T.P., Medina, A.E., Cieza, I., Díaz, P., Alvarado, R. and Escobal, F., 2022. Technologies available to increase corn production in Peru, *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, [e-journal], 14(1), pp. 1-31. <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2507>
- de Mendiburu, F., 2023. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R Package versión 1.3-7. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae> [Consultado el 25 de octubre de 2023]
- Díaz-Chuquizuta, P., Hidalgo-Meléndez, E., Mendoza-Paredes, M., Cieza-Ruiz, I., Jara-Calvo, T.W. and Valdés-Rodríguez, O.A., 2023. New thilinear hybrid of hard yellow corn for the Peruvian tropic. *Agronomía Mesoamericana*, [e-journal], 34(1), pp. 51177. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.51177>
- Díaz, P., Hidalgo, E., Mendoza, M. and Jara, T., 2022. *Guía técnica para el manejo del cultivo de maíz amarillo duro en la selva*. [Libro electrónico]. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/20.500.12955/1867> [Consultado el 15 de febrero de 2024]
- Díaz-Ramírez, G., León-García de Alba, C., Nieto-Ángel, D. and Mendoza-Castillo, M. C., 2021. Ganancia en ciclos de selección recurrente para rendimiento y resistencia a carbón de la espiga en maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología*, [e-journal], 39(1), pp. 61-74. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2008-1>
- Espinosa-Carillo, J. F., and Vallejo-Cabrera, F. A., 2020. Variabilidad genética de familias de medios hermanos de melón criollo ecuatoriano *Cucumis melo* var. dudaim (L.) Naudin. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, [e-journal], 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1762>
- Espitia R., E., Martínez C., E., Villaseñor M., H. E., Hortelano S.R., R., Limón O., A. and Lozano G., A., 2021. Variabilidad genética y criterios de selección del rendimiento y los componentes en trigos harineros de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, [e-journal], 12(2), pp. 305-315. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2787>
- Flores, M., Llambo, A., Loza, D., Naya, S and Tarrío-Saavedra, J., 2023. Predicting rainfall and irrigation requirements of corn in Ecuador. *Heliyon*, [e-journal], 9, e18334. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18334>
- Gavilánez-Luna, F. C. and Gómez-Vargas M. J., 2022. Definición de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio para una máxima producción del maíz híbrido Advanta 9313 mediante el diseño central compuesto. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, [e-journal], 23(1), e2225. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2225
- Godfrey, A., Kwemoi, D. B., Sneller, C., Kasozi, Ch. L., Das, B., Musundire, L., Makumbi, D., Beyene, Y. and Prasanna B.M., 2023. Genetic trends for yield and key agronomic traits in pre-commercial and commercial maize varieties between 2008 and 2020 in Uganda. *Frontiers in Plant Science*, [e-journal], 14. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2023.1020667>
- Herrera, M., Guerra, C. W, Sarduy, L., García, Y. and Martínez, C. E., 2012. Diferentes métodos estadísticos para el análisis de variables discretas. Una aplicación en las ciencias

- agrícolas y técnicas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, [e-journal], 21(1), pp. 58-62. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542012000100011&lng=es&tlng=es [Consultado el 10 de febrero de 2023]
- Izquierdo, J. and Arévalo, J. J., 2021. Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, [e-journal], 26, pp. 20–28. <https://doi.org/10.25054/22161325.2527>
- Guamán, R. N., Desiderio, T. X., Villavicencio, A. F., Ulloa, S. M., and Romero, E. J., 2020. Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, [e-journal], 7(2), pp. 47-56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Hernández-Ramos, M. A., Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., Rosales-Esquiñanca, M. A., Pinto-Ruiz, R. and Ortiz-Pérez, R., 2016. Caracterización molecular de variedades locales de maíz de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, México. *Agronomía Mesoamericana*, [e-journal], 28(1), pp. 69–83. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21612>
- Jara C., T. W., Hidalgo M., E. and Echevarría T., R. G., 2003. *El maíz duro en la región San Martín*. [Libro electrónico]. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/864> [Consultado el 10 de febrero de 2024]
- Lagos, L. K., Vallejo, F. A., Lagos, T. C. and Duarte, D. E., 2020. Evaluación agronómica de familias de medios hermanos de lulo de Castilla, *Solanum quitoense* Lam.. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, [e-journal], 23 (1), e1334. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1334>
- López, W., Reynoso, R., López, J., Villar, B., Camas, R. and García, J. O., 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, [e-journal], 10(4), pp. 897-910. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Macchi, G., Rincón, F., Ruiz, N. A. and Castillo, F., 2010. Selección y mantenimiento de poblaciones. Una perspectiva para la conservación in situ de la diversidad genética del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, [e-journal], 23 (4), pp. 43-47. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000500010&lng=es&tlng=es [Consultado el 10 de febrero de 2024]
- Miranda del Fresno, M. C. and Confalone, A., 2022. Influencia del clima en el rendimiento de maíz (*Zea mays*) en el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Cuban Journal of Agricultural Science*, [e-journal], 56(4), e03. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v56n4/2079-3480-cjas-56-04-e03.pdf> [Consultado el 18 de diciembre de 2023].
- Montes, H. R., 2021. Evaluation of the third cycle of varietal selection and maintenance of three varieties of creole corn. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, [e-journal], 4(4), pp. 5946–5962. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-088>
- Morales-Ruíz, A. and Díaz-López, E., 2020. Influencia de la temperatura, precipitación y radiación solar en el rendimiento de maíz en el valle de Toluca, México. *Agrociencia*, [e-journal], 54(3), pp. 377-385. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i3.1933>
- Pacheco-Sangerman, F., Prado-Hernández, V., Maldonado, R. and Robledo-Santoyo, E., 2022. Diagnóstico nutrimental del suelo y foliar en el cultivo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, [e-journal], 13(6), pp. 1079–1090. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.2691>
- RStudio Team., 2024. *RStudio*. Integrated Development for R. R Foundation. <http://www.rstudio.com/> [Consultado el 10 de marzo de 2022]
- Royston, P., 1982. An Extension of Shapiro and Wilk's W Test for Normality to Large Samples. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, [e-journal], 31(2), pp. 115–124. <https://doi.org/10.2307/2347973>
- Sabino, E., Lavado, W. and Aybar, C., 2019. *Estimación de las zonas de vida de Holdridge en el Perú, formato: Artículo científico*. [Libro electrónico]. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología -DHI. [https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/443/Estimaci%
%c3%b3n-Zonas-Vida-Holdridge-Per%e3%ba](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/443/Estimaci%c3%b3n-Zonas-Vida-Holdridge-Per%e3%ba)

- [formato-art%c3%adculo-cient%c3%adfico.pdf?sequence=1&isAllo wed=y](#) [Consultado el 10 de febrero de 2024]
- Salinas, Y., Saavedra, S., Soria, J. and Espinosa, E., 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agricultura Técnica en México*, [ejournal], 34 (3), pp. 357-364. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60811116011> [Consultado el 10 de febrero de 2024]
- 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.* [Libro electrónico]. Ginebra: Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg002.pdf> [Consultado el 15 de febrero de 2024]
- Xing, G., Yong-Xiang L., Ming-Tao Y., Chun-Hui L., Yan-Chun, S., Tian-Yu, W., Yu, L. and Yun-Su, S., 2022. Changes in grain filling characteristics of single-cross maize hybrids released in China from 1964 to 2014. *Journal of Integrative Agriculture*. [e-journal], <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.006>