

Rendimiento de grano y sus componentes de 25 variedades de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) de la provincia de Tayacaja, Perú

Grain yield and yield components of 25 starchy maize varieties (Zea mays L.) From the province of Tayacaja, Peru

 Pedro J. García-Mendoza¹

 Carlos M. Rodríguez²

 Luis A. Taramona Ruiz³

 Miguel Á. Yglesias Jaúregui¹

 Iris B. Pérez-Almeida⁴

pedrogarcia@unat.edu.pe 

1.- Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Huancavelica, Perú

2.- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA - CENIAP). Maracay, Venezuela

3.- Universidad Le Cordon Bleu, Lima, Perú

4.- Universidad Ecotec. Samborondón, Ecuador

Recibido: 15/08/2025

Revisado: 06/10/2025

Aceptado: 01/12/2025

Publicado: 06/01/2026

RESUMEN

El maíz es un cultivo de vital importancia en los Andes peruanos, donde las variedades locales y mejoradas constituyen una fuente clave de alimento e ingresos. Sin embargo, la información sobre la relación entre el rendimiento y sus componentes en variedades creadas en regiones específicas, como Tayacaja, es limitada. El presente estudio planteó como objetivos estimar el rendimiento en grano y su relación con los componentes del rendimiento en 25 variedades de maíz provenientes de la provincia de Tayacaja, Huancavelica, Perú, y generar un modelo de regresión múltiple predictivo del rendimiento a partir de los componentes de mayor correlación. Las evaluaciones se realizaron en una localidad del distrito de Daniel Hernández, Tayacaja, Perú, utilizando un diseño alfa látice 5x5 con 3 repeticiones, en el año 2020. Se realizó un análisis de correlación de Pearson, análisis de senderos y un análisis de regresión lineal múltiple por pasos. Los resultados preliminares indican que los componentes del rendimiento explican una porción significativa de la variabilidad observada en el rendimiento de grano, siendo el peso del grano y el diámetro de la mazorca las variables de mayor peso en el modelo predictivo. Los análisis de correlación, sendero y regresión múltiple permitieron evidenciar que el peso medio de grano fue el componente del rendimiento que ejerce la mayor influencia directa y consistente sobre la productividad de las variedades de maíz amiláceo evaluadas. Estos hallazgos ofrecen criterios de selección directos para los programas de mejoramiento genético de maíz en la sierra central del Perú. Se sugiere, además, continuar con estudios multiambientales que permitan validar la estabilidad de estos componentes como predictores del rendimiento.



Palabras claves: *Zea mays* L., mejoramiento genético, correlación, regresión múltiple, análisis de senderos, componentes del rendimiento, Tayacaja.

ABSTRACT

Maize is a crop of vital importance in the Peruvian Andes, where local and improved varieties represent a key source of food and income. However, information on the relationship between yield and its components in varieties created in specific regions, such as Tayacaja, is limited. The present study aimed to estimate grain yield and its relationship with yield components in 25 maize varieties from the province of Tayacaja, Huancavelica, Peru, and to develop a multiple regression model predicting yield from the components with the highest correlation. Field evaluations were conducted in 2020 in the Daniel Hernández district of Tayacaja, Peru, using a 5×5 alpha-lattice experimental design with three replications. A Pearson correlation analysis, path analysis and stepwise multiple linear regression analysis were performed. Preliminary results indicate that yield components explain a significant portion of the observed variability in grain yield, with grain weight and ear diameter being the most influential variables in the predictive model. The correlation, path, and multiple regression analyses showed that average grain weight was the yield component exerting the greatest direct and consistent influence on the productivity of the evaluated starchy maize varieties. These findings provide direct selection criteria for maize genetic improvement programs in the central highlands of Peru. It is also recommended that multi-environment studies be continued to validate the stability of these components as yield predictors.

Keywords: *Zea mays* L., genetic improvement, correlation, multiple regression, path analysis, yield components, Tayacaja.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) constituye uno de los cultivos de mayor importancia económica, social y cultural en el Perú. La región andina, especialmente el departamento de Huancavelica y la provincia de Tayacaja, representa un importante centro de diversidad genética de maíces amiláceos. En esta zona, los programas de mejoramiento genético han desarrollado variedades de polinización abierta orientadas a conservar las características de grano preferidas por los agricultores y, al mismo tiempo, incrementar el rendimiento del cultivo (Sevilla y Holle, 2004).

El rendimiento de grano es un carácter complejo, de naturaleza poligénica y baja heredabilidad, altamente influenciado por las condiciones ambientales (Hallauer

et al., 2010). Debido a ello, los programas de mejoramiento suelen emplear la selección indirecta mediante componentes del rendimiento con mayor heredabilidad y estrecha relación genética con la productividad, tales como la longitud y diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera y peso del grano. Comprender la relación entre estos componentes y el rendimiento final resulta fundamental para establecer criterios de selección eficientes en programas de fitomejoramiento.

En el contexto andino peruano, las investigaciones sobre maíz amiláceo se han enfocado principalmente en la conservación de la diversidad genética y en el desarrollo de variedades adaptadas mediante fitomejoramiento participativo (Oscanoa y

Sevilla, 2011). Sin embargo, aún son limitados los estudios orientados a comprender la arquitectura del rendimiento en variedades desarrolladas por programas regionales específicos, como los de la provincia de Tayacaja. Estudios recientes han evidenciado una alta variabilidad fenotípica en maíces de Huancavelica y Cajamarca, resaltando el potencial de este germoplasma para identificar genotipos superiores (García-Mendoza *et al.*, 2025).

El análisis de correlación ha sido ampliamente utilizado para determinar la magnitud y dirección de la asociación entre el rendimiento y sus componentes. Diversos estudios reportan correlaciones positivas y significativas entre el rendimiento de grano y caracteres como el diámetro y longitud de mazorca, número de granos por hilera y peso de grano, destacando su utilidad como criterios de selección indirecta (Dash *et al.*, 2020 y Kumar *et al.*, 2024). Asimismo, análisis más avanzados, como los coeficientes de sendero y la regresión múltiple, permiten descomponer los efectos directos e indirectos de cada componente y cuantificar su contribución relativa al rendimiento. Investigaciones recientes identificaron al peso de grano, número de granos por hilera y número de hileras por mazorca como variables de mayor influencia sobre la productividad (Reddy *et al.*, 2022 y Hao, 2022).

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo estimar el rendimiento de grano y su correlación con los componentes del rendimiento en 25 variedades de maíz amiláceo provenientes de la provincia de Tayacaja, evaluadas durante la campaña agrícola 2019–2020 en el distrito de Daniel Hernández. Además, se desarrolló un modelo de regresión múltiple con el fin de identificar los componentes de mayor influencia sobre el rendimiento de grano y

contribuir al establecimiento de criterios de selección más eficientes para programas de mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

El experimento se condujo durante la campaña agrícola 2019-2020 en una localidad ubicada en el distrito Daniel Hernández de la provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica, República del Perú, entre las coordenadas geográficas 12°23'53" de latitud sur y 74°52'05" de longitud oeste, a una altitud aproximada de 3 200 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Tipo de Suelo

El suelo del área experimental corresponde a un suelo franco-arcilloso, de origen aluvial-coluvial, con un pH moderadamente ácido (5.8 – 6.2), contenido medio de materia orgánica (2.5 – 3.0%) y una profundidad efectiva superior a los 80 cm. Estos suelos son representativos de las zonas papero-maiceras de la sierra central del Perú y presentan aptitud agrícola para el cultivo de maíz amiláceo.

Climodiagrama

El clima de la provincia de Tayacaja durante la campaña agrícola 2020 correspondió al típico de los valles interandinos de la sierra central, con una estación lluviosa bien definida entre noviembre y abril, seguida de una estación seca entre mayo y octubre, con una precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo de 650 mm, concentrándose el 80% entre los meses de enero y marzo. La temperatura media mensual osciló entre 12 °C y 18 °C, con una mínima absoluta de 2 °C de junio y julio (época de maduración y cosecha) y una máxima absoluta de 24 °C durante el llenado de grano. La humedad relativa media fue del 65%, disminuyendo gradualmente hacia la cosecha.

Genotipos y Variedades Evaluadas

Se evaluaron un total de 25 variedades de maíz (*Zea mays* L.), de las cuales 22 corresponden a variedades locales, seleccionadas por los agricultores de la provincia de Tayacaja, y 3 son variedades mejoradas, utilizadas como testigo de referencia, obtenidas del Instituto Nacional de Innovación Agraria, Cajamarca. La identificación, la genealogía y el origen de cada variedad fueron detallados previamente por García *et al.* (2021).

Componentes del Rendimiento Evaluados

Las variables de respuesta y los componentes del rendimiento medidos en cada unidad experimental fueron los siguientes: *Rendimiento de grano (REND)*: expresado en $t\ ha^{-1}$ y ajustado al 14% de humedad; *longitud de mazorca (LM)*: medida en cm desde la base hasta el ápice; *diámetro de mazorca (DM)*: medido en cm en la sección ecuatorial; *diámetro de coronta (DC)*: medido en cm en la base de la mazorca desgranada; *longitud de grano (LG)*: calculada en cm mediante la fórmula: $LG = (DM - DC)/2$; *número de hileras (NH)*: conteo de hileras en la parte central de la mazorca; *número de granos por hilera (NGH)*: conteo de granos en una hilera representativa; *peso medio de grano (PMG)*: expresado en g, obtenido del peso de 300 granos dividido entre 300.

Las evaluaciones de todos los caracteres se hicieron siguiendo la metodología propuesta por el Centro Internacional de Mejoramiento de maíz y el Trigo (CIMMYT) (IBPGR, 1991).

Análisis Estadístico

Los datos recolectados fueron sometidos a los siguientes análisis estadísticos, utilizando los programas R (R Core Team, 2021) e InfoStat versión 2021:

1. Estadística descriptiva: Para cada variable se calcularon la media, la desviación estándar, los valores mínimo y máximo y el coeficiente de variación, con el fin de caracterizar la variabilidad de la población de variedades evaluadas.

2. Análisis de la varianza (ANOVA): Se realizó un análisis de varianza para cada variable, ajustando un modelo lineal correspondiente a un diseño alfa látice con tres repeticiones: $Y_{ijk} = \mu + G_i + R_j + B_k(j) + E_{ijk}$, donde Y_{ijk} representa la observación correspondiente al i -ésimo genotipo, evaluado en la j -ésima repetición j , en el k -ésimo bloque dentro de la j -ésima repetición; μ es la media general, G_i es el efecto fijo del i -ésimo genotipo, R_j es el efecto aleatorio atribuido a la j -ésima repetición, $B_k(j)$ es el efecto aleatorio del k -ésimo bloque dentro de la j -ésima repetición, y E_{ijk} es el error experimental asociado a la observación Y_{ijk} .

3. Medias de genotipos: Se estimaron las medias ajustadas por mínimos cuadrados y se compararon mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para identificar grupos de genotipos estadísticamente diferentes.

4. Análisis de correlación múltiple: Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre todos los pares posibles de variables, lo que dio lugar a una matriz de correlación que sirvió de base para los análisis posteriores.

5. Análisis de senderos (Path analysis): Con el fin de descomponer las correlaciones fenotípicas en efectos directos e indirectos de los componentes del rendimiento sobre el rendimiento de grano, se realizó un análisis de coeficientes de sendero, resolviendo el sistema de ecuaciones normales con los coeficientes de correlación como entrada. Este análisis permitió cuantificar el efecto causal relativo de cada componente, aislando la influencia de los demás componentes.

6. Análisis de regresión múltiple: Se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple por el método de pasos sucesivos (stepwise) para generar un modelo predictivo del rendimiento de grano en función de los componentes del rendimiento. El criterio de entrada y salida de variables en el modelo fue el nivel de significancia del estadístico F parcial ($p < 0.05$ para la entrada y $p > 0.10$ para la salida). El modelo general fue de la forma:

$$\text{Rend} = \beta_0 + \beta_1(\text{LM}) + \beta_2(\text{DM}) + \beta_3(\text{DC}) + \beta_4(\text{LG}) + \beta_5(\text{NH}) + \beta_6(\text{NGH}) + \beta_7(\text{PMGr}) + \varepsilon$$
donde Rend es el rendimiento de grano estimado en t ha^{-1} , β_0 es el intercepto y desde β_1 hasta β_7 representan a los coeficientes de los 7 caracteres componentes del rendimiento de grano.

Se evaluó la capacidad predictiva del modelo resultante mediante el coeficiente de determinación (R^2), el error cuadrático medio y el análisis de los residuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Varianza y Variabilidad fenotípica

El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas ($p <$

0.0001) entre las 25 variedades evaluadas en todos los componentes del rendimiento: longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), diámetro de coronta (DC), longitud de grano (LG), número de hileras (NH), número de granos por hilera (NGH) y peso medio de grano (PMGr) (Tabla 1). En el carácter rendimiento de grano (Rend), las diferencias también fueron significativas ($p=0.001$). Esta amplia variabilidad genética es la base para la selección y coincide con lo reportado por García-Mendoza *et al.* (2025), quienes destacaron la alta variabilidad fenotípica del maíz en la región de la provincia de Tayacaja, Huancavelica, Perú. Los coeficientes de variación (CV) de los componentes del rendimiento oscilaron entre 4.27% (DM) y 7.02% (LM), lo que indica una buena precisión experimental y una variabilidad manejable. El rendimiento de grano presentó un CV ligeramente mayor (17.58%), lo cual es de esperarse, dado que se trata de un carácter de arquitectura compleja y altamente influido por el ambiente (Sadiek *et al.*, 2009 y Hallauer *et al.*, 2010).

Tabla 1.

Análisis de varianza para rendimiento y componentes del rendimiento

Fuente Variación	Grados libertad	Rend (t ha^{-1})	LM (cm)	DM (cm)	DC (cm)	LG (cm)	NH (N°)	NGH (N°)	NGH (N°)
Modelo	38	1,71**	4,15**	0,36**	0,21**	0,15**	8,64**	9,74**	9,74**
Variedad	24	1,99**	6,12**	0,54**	0,32**	0,23**	13,46**	12,52**	12,52**
Rep	2	1,86	2,33*	0,042	0,009	0,009	0,581	19,42**	19,42*
Rep>Bloc	12	1,13	0,526	0,04	0,036	0,01	0,348	2,57*	2,57
Error	36	0,66	0,557	0,043	0,026	0,013	0,257	1,02	1,02
Total	74								
R^2 Aj		0,45	0,77	0,79	0,78	0,85	0,94	0,82	0,82
CV		17,58	7,02	4,27	6,94	8,93	4,68	4,92	4,92

* y ** indican diferencias significativas al 5 y 1 %, respectivamente. Rend, LM, DM, DC, LG, NH, NGH y PMGr significan, respectivamente, rendimiento de grano, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de coronta, longitud del grano, N° de hileras en la mazorca, N° de granos por hileras de la mazorca y peso medio del grano. Rep, Bloc, R^2 Aj y CV significan repeticiones, bloques, coeficiente de determinación ajustado y coeficiente de variación, respectivamente.

Análisis de Medias de Genotipos

La media general de rendimiento fue de 4.605 t ha⁻¹, destacando las variedades ‘Cusqueado-P’ (6.511 t ha⁻¹) y ‘Blanco Gigante-P’ (6.221 t ha⁻¹) (Tabla 2), ambas pertenecientes a la raza Cusco Gigante (Shaluana, 2004). En contraste, ‘Chull-

pi-ST’ (3.070 t ha⁻¹) y ‘Maíz Morado-Pi’ (3.369 t ha⁻¹) presentaron los menores rendimientos, evidenciando una amplia variabilidad genética y un importante potencial de selección en el germoplasma evaluado.

Tabla 2.

Medias de genotipos para rendimiento y componentes del rendimiento

Variedades	Rend (t ha ⁻¹)	LM (cm)	DM (cm)	DC (cm)	LG (cm)	NH (N°)	NGH (N°)	PMGr (g)
AB-Cusq-C	5,148	10,35	5,34	2,48	1,48	12,20	20,57	0,577
AB-DH	3,707	10,66	4,96	1,98	1,49	10,00	20,57	0,532
AB-P	5,964	9,88	5,66	2,14	1,76	12,87	20,63	0,600
AB-ST	4,372	10,68	4,76	2,24	1,26	8,87	20,70	0,651
Aim-ST	4,829	10,14	4,64	1,94	1,35	9,00	19,00	0,670
AM-DH	5,071	10,71	5,38	2,04	1,67	10,33	19,80	0,615
BG-P	6,221	12,14	5,31	2,86	1,23	8,13	21,53	0,825
Bol-Q	4,170	11,19	4,87	2,23	1,32	9,87	20,03	0,618
Car-P	5,106	9,58	5,10	2,10	1,50	12,07	19,10	0,463
Car-Pi	3,925	9,36	5,10	2,10	1,50	10,07	17,33	0,577
Car-Q	4,674	9,63	5,17	2,27	1,45	11,60	19,83	0,508
Car-Run	4,131	8,89	5,18	2,29	1,45	12,33	19,77	0,489
Chu-AB-ST	3,070	9,63	4,71	2,47	1,12	16,13	22,80	0,281
Chu-Q	4,726	9,59	4,64	2,77	0,94	16,80	23,80	0,301
Cusq-P	6,511	11,30	5,11	2,78	1,17	8,53	19,27	0,725
Hua-Pi	4,590	9,23	4,84	2,00	1,42	10,07	17,67	0,583
MD-Pi	4,233	10,26	4,14	2,07	1,03	9,07	19,13	0,553
MM-Pi	3,369	11,69	3,95	2,51	0,72	10,13	23,00	0,411
MRD-Pi	4,537	11,79	4,27	2,18	1,04	10,20	21,50	0,485
Pist-Pi	4,012	10,06	4,90	2,19	1,36	10,90	20,17	0,534
PO-Pi	4,703	9,54	4,79	2,12	1,33	10,47	18,70	0,501
PR-Pi	4,699	9,29	4,90	2,14	1,38	10,67	18,37	0,443
T1	4,567	15,33	4,95	3,21	0,87	11,67	26,33	0,537
T2	5,024	11,89	4,60	2,60	1,00	8,47	19,77	0,597
T3	3,757	12,80	4,02	2,66	0,68	10,27	22,90	0,346
Media general	4,605	10,62	4,85	2,34	1,26	10,83	20,49	0,537
IC (95 %)	4,268; 4,941	10,03; 11,21	4,68; 5,03	2,20; 2,47	1,15; 1,38	9,95; 11,7	19,65; 21,33	0,49; 0,59
DMS	1,34	1,24	0,34	0,27	0,19	0,84	1,67	0,06

Rend, LM, DM, DC, LG, NH, NGH y PMGr significan, respectivamente, rendimiento de grano, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de coronta, longitud del grano, N° de hileras en la mazorca, N° de granos por hileras de la mazorca y peso medio del grano. IC y DMS significan intervalo de confianza y diferencia mínima significativa, respectivamente.

A pesar de su menor productividad, ‘Chullpi-ST’ posee alto valor comercial por sus características para maíz cancha y uso forrajero, mientras que ‘Maíz Morado-Pi’ destaca por su elevado contenido de antocianinas, de interés para mercados especializados. Asimismo, algunas variedades de alto rendimiento, como ‘Blanco Gigante-P’, basaron su productividad en un mayor peso medio de grano, mientras que los testigos foráneos presentaron mazorcas más largas, característica asociada positivamente al rendimiento (Reddy *et al.*, 2022).

Análisis de Correlación de Pearson

El análisis de correlación (Tabla 3) mostró que el rendimiento de grano estuvo asociado principalmente con caracteres relacionados al tamaño y peso del grano. El rendimiento presentó correlaciones positivas y altamente significativas con el diámetro de mazorca ($r = 0.563$) y el peso medio de grano ($r = 0.629$), indicando que la productividad depende en mayor medida de la acumulación de biomasa en el grano, tal como señalan Tollenaar y Lee (2002).

Asimismo, el diámetro de mazorca se correlacionó fuertemente con la longitud de grano ($r = 0.837$), sugiriendo que mazorcas más gruesas favorecen el desarrollo de granos de mayor tamaño, en concordancia con lo reportado por Makanza *et al.* (2018) y Wei *et al.* (2019). Por otro lado, el número de hileras mostró una correlación negativa con el peso medio de grano ($r = -0.783$), evidenciando un mecanismo de compensación fisiológica asociado a la competencia por fotoasimilados durante el llenado de grano, fenómeno descrito por Borrás y Otegui (2001) y Fernández *et al.* (2022).

La baja asociación del rendimiento con el número de hileras y el número de granos por hilera sugiere que, en estas variedades de maíz amiláceo, el rendimiento depende más de la eficiencia del llenado de grano que del número total de granos, comportamiento también observado por Vega *et al.* (2001). En conjunto, estos resultados indican que los programas de mejoramiento genético deberían priorizar caracteres relacionados con el tamaño y peso del grano, así como con la estructura de la mazorca.

Tabla 3.

Matriz de correlación de Pearson entre variables de rendimiento

	Rend	LM	DM	DC	LG	NH	NGH	PMGr
Rend	1							
LM	0,230	1						
DM	0,563*	-0,233	1					
DC	0,326	0,392	0,039	1				
LG	0,304	-0,414*	0,837**	-0,512*	1			
NH	-0,250	-0,499*	0,090	0,228	-0,043	1		
NGH	-0,172	0,415*	-0,272	0,609	-0,565	0,505*	1	
PMGr	0,629*	0,451*	0,401*	0,018	0,333	-0,783**	-0,401*	1

* y ** indican porcentajes de correlación significativos al 5 % y al 1 %, respectivamente. Rend, LM, DM, DC, LG, NH, NGH y PMGr significan, respectivamente, rendimiento de grano, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de coronta, longitud del grano, N° de hileras en la mazorca, N° de granos por hileras de la mazorca y peso medio del grano

Análisis de Senderos (Path Analysis)

El análisis de senderos (Tabla 4) permitió descomponer las correlaciones en efectos directos e indirectos, evidenciando que el peso medio de grano (PMGr) presentó el mayor efecto directo positivo sobre el rendimiento (0.760), seguido del diámetro de mazorca (DM) (0.750). La correlación del PMGr con el rendimiento ($r = 0.650$; $p = 0.0004$) estuvo explicada principalmente por su elevado efecto directo, confirmándolo como el componente de mayor influencia y el criterio más eficiente de selección indirecta, en concordancia con lo reportado por Hao (2022).

Por otro lado, la longitud de grano (LG) presentó un efecto directo negativo sobre el rendimiento (-0.86), a pesar de

mostrar una correlación simple positiva ($r = 0.304$). Este comportamiento se explicó por su elevado efecto indirecto positivo a través del diámetro de mazorca, debido a la fuerte asociación entre ambas variables ($r = 0.837$), lo que evidencia la importancia de considerar las relaciones causales y no solo las correlaciones simples.

Asimismo, el número de granos por hilera (NGH) mostró un efecto directo negativo, mientras que la longitud de mazorca (LM) presentó un efecto positivo de baja magnitud. Estos resultados sugieren que un incremento en el número de granos no necesariamente mejora el rendimiento si no se acompaña de un adecuado peso de grano, comportamiento previamente descrito por Fernández *et al.* (2022), Borrás y Otegui (2001) y Bankole *et al.* (2017).

Tabla 4.

Efectos directos e indirectos del análisis de senderos

Variable dependiente: Rend; n =25							
Efecto	Vía	Coeficientes	p-valor	Efecto	Vía	Coeficientes	p-valor
DM	Directa	0,750		PMGr	Directa	0,760	
DM	LM	-0,060		PMGr	LM	0,040	
DM	DC	0,004		PMGr	DM	0,340	
DM	LG	-0,700		PMGr	DC	0,002	
DM	NH	0,070		PMGr	LG	-0,330	
DM	NGH	0,160		PMGr	NH	-0,390	
DM	PMGr	0,350		PMGr	NGH	0,230	
r total		0,570	0,0031	r total		0,650	0,0004

Modelo de Regresión Lineal Múltiple

El modelo de regresión múltiple con los siete componentes del rendimiento (Tabla 5) mostró un coeficiente de correlación múltiple de 0,798 y un coeficiente de determinación R^2 de 63,7% (R^2 ajustado = 0,488). El análisis de varianza del modelo fue significativo ($F = 4,261$, con 7 y 17

gl). En la Tabla 6 se observa que la variable peso medio de grano (PMGr) rozó el umbral de significancia ($p = 0,0699$), con un coeficiente parcial de 4,992. Este hallazgo refuerza los resultados del análisis de senderos y, de cierto modo, coincide con lo reportado por Reddy *et al.* (2022), quienes

identificaron el peso de 1000 granos como el principal contribuyente en su modelo de regresión paso a paso. El modelo general fue significativo, explicando el 63,7 % de

la variabilidad del rendimiento. El análisis de residuales no mostró patrones evidentes de falta de ajuste, con residuales distribuidos sin tendencias claras.

Tabla 5.

Coefficientes de regresión del modelo múltiple

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0,285	2,250	-0,127	0,9005	-5,032	4,461
LM	0,136	0,269	0,505	0,6197	-0,431	0,703
DM	1,489	5,723	0,260	0,7979	-10,587	13,564
DC	-0,188	5,673	-0,033	0,9740	-12,158	11,782
LG	-2,637	11,378	-0,232	0,8195	-26,642	21,367
NH	0,209	0,215	0,974	0,3435	-0,244	0,663
NGH	-0,242	0,199	-1,216	0,2404	-0,662	0,178
PMGr	4,992	2,581	1,934	0,0699	-0,454	10,438

Los resultados de este estudio demuestran que, en las 25 variedades de maíz amiláceo evaluadas en la localidad de Run-do, Daniel Hernández, Tayacaja, Perú, el peso del grano es el componente del rendimiento con mayor efecto directo y la mejor variable predictiva del rendimiento final. Esto concuerda con Hao (2022) y se alinea con la lógica fisiológica de que, una vez establecido el número de granos, lo cual ocurre en las primeras etapas de desarrollo vegetativo del cultivo, son la tasa y la duración del llenado de grano las que determinan la productividad final. La fuerte correlación negativa observada en este estudio entre el número de hileras y el peso del grano respalda la idea de una compensación entre componentes, un fenómeno bien documentado en cereales. Para el mejoramiento genético en la sierra central peruana, se recomienda enfocar la selección en genotipos que combinen un alto diámetro de mazorca con un peso de grano elevado.

CONCLUSIONES

Las 25 variedades de maíz evaluadas presentaron diferencias altamente significativas en todos los caracteres considerados, evidenciando amplia variabilidad genética y un importante potencial para programas de mejoramiento en Tayacaja.

El rendimiento de grano mostró correlación positiva y altamente significativa con el diámetro de mazorca y el peso medio de grano, siendo este último el componente de mayor efecto directo sobre la productividad. Asimismo, se observó una relación negativa entre el número de hileras y el peso medio de grano, lo que sugiere una compensación fisiológica entre ambos caracteres.

El análisis de senderos confirmó que el peso medio de grano y el diámetro de mazorca constituyen los criterios más eficientes de selección indirecta para incrementar el rendimiento.

El modelo de regresión múltiple explicó el 63.7% de la variabilidad del rendimiento de grano, destacando al peso medio de grano como el componente de mayor influencia y consistencia sobre la productividad.

Se recomienda utilizar el peso medio de grano y el diámetro de mazorca como criterios principales de selección en programas de mejoramiento genético de maíz amiláceo y realizar estudios multambientales para validar la estabilidad en diferentes localidades y ciclos agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja (UNAT), Daniel Hernández Morillo (UNAT), quien proporcionó los recursos para esta investigación a través del Fondo de Desarrollo Socioeconómico de Camisea (FOCAM), así como al productor agrícola Libio Humberto Ega, por permitir el uso de un espacio de su campo de producción para el establecimiento del experimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bankole, F., Menkir, A., Olaoye, G., Crossa, J., Hearne, S., Unachukwu, N., y Gedil, M. (2017). Genetic gains in yield and yield related traits under drought stress and favorable environments in a maize population improved using marker assisted recurrent selection. *Frontiers in plant science*, 8, 808. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00808>
- Borrás, L., y Otegui, M. E. (2001). Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science*, 41(6), 1816-1822. <https://doi.org/10.2135/crosci2001.1816>.
- Dash, A. P., Lenka, D., Tripathy, S. K., Swain, D., y Lenka, D. (2020). Character association and path analysis of grain yield and its components in Maize (*Zea mays* L.) under heat stress. *International Journal of Current. Microbiology and Applied Sciences*, 9(3), 2750-2758. <https://www.ijcmas.com/abstractview.php?ID=16600&vol=9-3-2020&SNo=315>
- Fernández, J. A., Messina, C. D., Salinas, A., Prasad, P. V., Nippert, J. B., y Ciampitti, I. A. (2022). Kernel weight contribution to yield genetic gain of maize: A global review and US case studies. *Journal of Experimental Botany*, 73(11), 3597-3609. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac103>.
- García-Mendoza, P. J., Medina-Castro, D. E., Prieto-Rosales, G. P., Mayay-Sánchez, D., y Ortecho-Llanos, R. (2021). Uso del modelo AMMI para el análisis de la interacción genotipo ambiente en variedades de maíz amiláceo de Tayacaja, Perú. *Tayacaja*, 4(1), 09-24. <https://doi.org/10.46908/tayacaja.v4i1.149>.
- García-Mendoza, P. J., Saldaña, C. L., Pérez-Almeida, I. B., Prieto-Rosales, G. P., Medina-Castro, D. E., Taramona-Ruiz, L. A., y Arbizu, C. I. (2025). Genetic diversity and population structure of maize landraces from Huancavelica and Cajamarca provinces of Peru using SNP markers. *Plant Genetic Resources*, 23(4), 262-270. <https://doi.org/10.1017/S1479262125000024>.

- Hallauer, A.R., Carena, M.J., y Miranda Filho, J.B., (2010). Quantitative genetics in maize breeding, in: Prohens, J., Nuez, F., y Carena, M.J. (Eds.), *Handbook of Plant Breeding*. Springer, New York, pp. 1–663. DOI:10.1007/978-1-4419-0766-0
- Hao, Q. (2022). Multiple linear regression analysis of yield components of summer maize varieties in Shaanxi Province, China. *Bangladesh Journal of Botany*, 51(4): 979-985. <https://doi.org/10.3329/bjb.v51i40.63842>
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). (1991). Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome.
- Kumar, G., Praveen, N., Sunil, J. C., Sekhar, D., y Srinivasa, C. (2024). “Character Association and Path Coefficient Analysis to Determine Interrelationships Among Grain Yield and Its Components in Maize Genotypes (*Zea mays* L.)”. *Journal of Scientific Research and Reports* 30(3):275-83. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i31878>
- Makanza, R., Zaman-Allah, M., Cairns, J. E., Eyre, J., Burgueño, J., Pacheco, Á., y Prasanna, B. M. (2018). High-throughput method for ear phenotyping and kernel weight estimation in maize using ear digital imaging. *Plant methods*, 14(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0317-4>.
- Oscanoa-Rodríguez, C., y Sevilla-Panizo, R. (2011). Mejoramiento conservativo del maíz en la sierra del Perú. Huancayo, Perú. pp 59. <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/276ac9a8-47c9-43ba-8307-375d9abf14d4/content>.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.
- Reddy, S. G. M., Lal, G. M., Krishna, T. V., Reddy, Y. V. S., y Sandeep, N. (2022). Correlation and path coefficient analysis for grain yield components in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*, 34(23), 24-36. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i2331558>
- Salhuana, W. (2004). Diversidad y descripción de las razas de maíz en el Perú. https://www.ars.usda.gov/ARSTUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Diversidad%20y%20razas%20de%20maiz%20en%20Peru.pdf.
- Sevilla, R., y Holle, M. (2004). Recursos genéticos vegetales. Universidad Nacional Agraria La Molina. 204–251. https://www.ars.usda.gov/ARSTUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Diversidad%20y%20razas%20de%20maiz%20en%20Peru.pdf.
- Tollenaar, M., y Lee, E. A. (2002). Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, 75(2-3), 161–169. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00024-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00024-2).
- Vega, C. R. C., Andrade, F. H., Sadras, V. O., Uhart, S. A., y Valentinuz, O. R. (2001). Seed number as a function of growth: a comparative study in soybean, sunflower, and maize. *Crop Science*, 41(3), 748–754. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.413748x>

Wei, S., Wang, X., Li, G., Qin, Y., Jiang, D., y Dong, S. (2019). Plant density and nitrogen supply affect the grain-filling parameters of maize kernels located in different ear positions. *Frontiers in plant science*, 10, 180. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00180>

Declaración de roles de autores:

- Pedro José García Mendoza: Conceptualización; metodología y administración del proyecto.
- Carlos Marín Rodríguez: Conceptualización; metodología; curación de datos, análisis de datos, revisión y edición
- Luis Alberto Taramona Ruiz: Conceptualización; metodología, supervisión, revisión y edición final
- Miguel Ángel Yglesias-Jaúregui: Conceptualización; metodología, Estadística, redacción.
- Iris Betzaida Pérez-Almeida: Conceptualización; redacción, revisión y edición final.