

## EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y SELECCIÓN DE GENOTIPOS PRECOCES DE AMARANTO (*Amaranthus caudatus* L.) EN EL MUNICIPIO DE ALCALÁ, CHUQUISACA-BOLIVIA

### Agronomic evaluation and selection of early-maturing genotypes of amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) in the Municipality of Alcalá, Chuquisaca-Bolivia

Rodrigo Grover Mamani Vargas<sup>1</sup>, Emma Yana Ali<sup>2</sup>, Carlos Herculano Mayán Cabezas<sup>3</sup>.

#### RESUMEN

El amaranto sobresale por su alto valor nutricional y su capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas extremas, lo que la convierte en una alternativa viable frente al cambio climático. Por consiguiente, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de diez genotipos precoces de amaranto. Para ello, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Las evaluaciones de las variables fueron: fenológicas (días a la emergencia, floración y madurez fisiológica) y agronómicas (altura de planta, longitud de panoja, diámetro de panoja, peso de 1000 granos y rendimiento de grano). Los resultados revelaron que los genotipos T10 = BOL 4047, T7 = BOL 4025, T4 = BOL 3993, T5 = BOL 4051, T6 = BOL 4039 y T9 = BOL 4008 destacaron por alcanzar la madurez fisiológica entre 132 y 137 días, con rendimientos superiores a 900 kg ha<sup>-1</sup>, siendo el T10 el más precoz y productivo con 1 038 kg ha<sup>-1</sup>. En contraste, los genotipos T1 = BOL 3998, T2 = BOL 3987, T3 = BOL 3996 y especialmente T8 = BOL 4027 mostraron ciclos prolongados de hasta 150 días a la madurez fisiológica y bajos rendimientos, siendo el T8 = BOL 4027 el menos favorable con solo 443 kg ha<sup>-1</sup>. Por tanto, los genotipos T10 = BOL 4047, T4 = BOL 3993 y T7 = BOL 4025 fueron los más promisorios, al presentar una madurez fisiológica hasta un 12 % más rápida frente a los genotipos tardíos.

**Palabras claves:** *Amaranthus caudatus* L., Precocidad, Genotipo, rendimiento.

#### ABSTRACT

Amaranth stands out for its high nutritional value and its ability to adapt to different types of soil and extreme climatic conditions, making it a viable alternative in the face of climate change. Therefore, the objective of this study was to evaluate the agronomic performance of ten early-maturing amaranth genotypes. A completely randomized block design with three replicates was used. The variables assessed were: phenological (days to emergence, flowering, and physiological maturity) and agronomic (plant height, panicle length, panicle diameter, 1,000-kernel weight, and grain yield). The results revealed that genotypes T10 = BOL 4047, T7 = BOL 4025, T4 = BOL 3993, T5 = BOL 4051, T6 = BOL 4039, and T9 = BOL 4008 stood out for reaching physiological maturity between 132 and 137 days, with yields above 900 kg ha<sup>-1</sup>, with T10 being the earliest and most productive with 1,038 kg ha<sup>-1</sup>. In contrast, genotypes T1 (BOL 3998), T2 = BOL 3987, T3 = BOL 3996, and especially T8 = BOL 4027 showed prolonged cycles of up to 150 days to physiological maturity and low yields, with T8 = BOL 4027 being the least favorable with only 443 kg ha<sup>-1</sup>. Therefore, genotypes T10 = BOL 4047, T4 = BOL 3993, and T7 = BOL 4025 were the most promising, showing physiological maturity up to 12 % faster than the late genotypes.

**Keywords:** *Amaranthus caudatus* L., Precocity, Genotype, Yield.

<sup>1</sup> Investigador, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7208-7428>. [rgmamani11@umsa.bo](mailto:rgmamani11@umsa.bo)

<sup>2</sup> Jefe Nacional Unidad de Investigación y Validación, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5443-6752>. [yana.ali.emma@gmail.com](mailto:yana.ali.emma@gmail.com)

<sup>3</sup> Investigador, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, Bolivia

## INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) se destaca por presentar alto contenido de proteína (15-18%), ácido graso insaturado, vitaminas, además de propiedades funcionales, así como los contenidos de lisina y calcio con promedios de 5.2 y 0.37 g 100 g<sup>-1</sup> de materia seca respectivamente (Gomes et al., 2024; Rangel et al., 2021). Su resiliencia se manifiesta en su adaptabilidad a diversas condiciones edafoclimáticas, tolerancia al estrés biótico y abiótico además de su comportamiento favorable en cultivos intercalados (Becerril y Becerra, 2026).

Los principales países productores de amaranto de grano son China, India, Kenia, Mexico, Nepal, Perú, Estados Unidos, Bolivia, Pakistan, Argentina y Rusia (Ayala-Garay et al., 2025). Entre ellos, China sobresale por sus grandes extensiones cultivadas, que varían entre 100 000 y 300 000 ha, con rendimientos promedios de 5.5 t ha<sup>-1</sup> (Corke et al., 2015). Al respecto Calderón Vásquez (2017), menciona que el cultivo de amaranto en Bolivia se concentra en los valles interandinos de los departamentos de Tarija, Cochabamba, Chuquisaca y La Paz, donde se obtienen rendimientos promedios de 6 748 kg ha<sup>-1</sup>.

No obstante, estas regiones enfrentan condiciones climáticas adversas como déficit hídrico y temperaturas superiores a los 40 °C, que afectan negativamente el desarrollo del cultivo. Ante este escenario, resulta prioritario incorporar genotipos precoces con mayor adaptabilidad a las condiciones actuales (Hernandez et al., 2023) Sin embargo, se ha evidenciado que los genotipos precoces tienden a presentar rendimientos menores en comparación con los de ciclo más largo. Por ello, es fundamental avanzar en la selección de germoplasma base para evaluar la relación entre la precocidad y el rendimiento de grano, así como identificar los factores genéticos responsables de esta variabilidad (Dzib et al., 2018).

En este contexto, el uso de genotipos precoces se presenta como una estrategia agronómica eficaz, ya que permite acortar el ciclo del cultivo y reducir

la exposición a eventos climáticos adversos como sequias prolongadas o heladas tempranas. En consecuencia, este estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de diez genotipos precoces de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) para identificar el más precoz en condiciones climatológicas de la comunidad de Salazar Pampa del municipio de Alcalá, Chuquisaca, Bolivia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Región de estudio

La investigación se desarrolló en la provincia Tomina localidad de Salazar Pampa ubicado con coordenadas geográficas de 35°33'28,84" Latitud Sur y 78°57'58,07" Longitud Oeste a 2055 m s.n.m. localizada en la zona 19S, en valles del departamento de Chuquisaca durante la campaña agrícola comprendido entre diciembre de 2023 a mayo de 2024.

### Material genético

El material genético, consistió en diez genotipos de amaranto con características de precocidad correspondientes al componente de Recursos Genéticos del proyecto Granos Andinos (Tabla 1), más un testigo que corresponde a un ecotipo local de amaranto, proveniente de la localidad Salazar Pampa caracterizado por presentar grano de color marrón, ciclo precoz, adaptado a las condiciones edafoclimáticas locales obtenidos durante en la campaña agrícola 2022/2023.

### Manejo del experimento

A partir de la identificación de la zona de estudio se realizó el roturado del suelo a profundidad de 30 cm con la asistencia de un yugo, procedimiento que incluyó mullido y apertura de surcos. El material genético fue establecido bajo la metodología de siembra a chorro continuo de forma manual utilizando probetas pequeñas bajo una densidad de siembra de 5-8 kg ha<sup>-1</sup>, Las labores culturales incluyeron deshierbe, raleo, aporcado, riegos complementarios, control de enfermedades y purificación.

**Tabla 1.**  
*Material genético utilizado en el estudio*

N°	Código	Color de grano	Ciclo vegetativo	Procedencia
T1	BOL 3998	Marrón	Precoz	CRG-PGA
T2	BOL 3987	Cristalino	Precoz	CRG-PGA
T3	BOL 3996	Marrón	Precoz	CRG-PGA
T4	BOL 3993	Marrón claro	Precoz	CRG-PGA
T5	BOL 4051	Blanco	Precoz	CRG-PGA
T6	BOL 4039	Marrón	Precoz	CRG-PGA
T7	BOL 4025	Cristalino	Precoz	CRG-PGA
T8	BOL 4027	Marrón claro	Precoz	CRG-PGA
T9	BOL 4008	Marrón	Precoz	CRG-PGA
T10	BOL 4047	Blanco	Precoz	CRG-PGA
T11	Testigo	Marrón	Precoz	Local

**Nota.** El material genético fue proporcionado por el componente de Recursos Genéticos del proyecto Granos Andinos (CRG-PGA), ejecutado por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF).

### Variables evaluadas

Se evaluaron ocho variables cuantitativas (continuas y discretas) las cuales fueron registradas como:

#### Variables fenológicas

a) Días a la emergencia (DE): conformadas para cada genotipo de amaranto desde la siembra hasta la emergencia, de acuerdo con Rangel et al. (2021), se consideró de manera visual el momento en que el 50 % de plantas completaron su brote.

b) Días a la floración (DF): establecidos de manera visual cuando el 50 % de las plantas alcanzaron la fase completa de floración, tomando en cuenta plantas del surco central y despreciando los extremos.

c) Días a la madurez fisiológica (DM): se determinaron para cada genotipo de amaranto de forma visual, cuando el 50 % de plantas presentaron una coloración foliar (amarillamiento) y la resistencia a la presión de la uña sin dejar marca.

#### Variables agronómicas

a) Altura de planta (AP): se determinó, midiendo el tallo principal de plantas muestreadas, considerando desde la base del tallo hasta el inicio de la panoja coincidiendo con (Romero et al., 2017; Uriarte et al.,

2023), a partir de los 90 días, cuando los genotipos alcanzaron la madurez fisiológica, utilizando un flexómetro en centímetros.

b) Longitud de panoja (LP): se determinó en plantas muestreadas del surco central, midiendo desde el punto de inserción hasta el ápice de la panoja a partir de los 120 días, cuando alcanzaron la madurez fisiológica, utilizando una regla graduada en centímetros;

c) Diámetro de panoja (DP): se determinó a los 120 días, después de la siembra en la etapa de madurez fisiológica realizándose la medición transversalmente en la parte media de la panoja utilizando una regla graduada en centímetros;

d) Peso de 1000 granos (PMG): se determinó pesando 1 000 granos de una muestra aleatoria de cada unidad experimental inmediato de ser cosechado, utilizando una balanza analítica (precisión a 0.01 g).

e) Rendimiento de grano (RDTO): de acuerdo con Rangel et al. (2021) se pesó el total de los granos cosechados de cada unidad experimental expresados inicialmente en gramos por parcela útil y luego transformados a kg ha<sup>-1</sup>.

## Diseño experimental y análisis estadístico

El presente estudio se instaló bajo el diseño de bloques completamente al azar, debido a la heterogeneidad de los suelos (López y González, 2016), para controlar y bloquear los gradientes de variación presentes en el área experimental. El ensayo estuvo conformado por tres bloques y 11 tratamientos, con tres réplicas, haciendo un total de 33 unidades experimentales (UE). Cada UE tuvo un

área de 9 m<sup>2</sup>, conformada por cuatro surcos, con una separación de 0.7 m entre surcos, alcanzando un área experimental total de 742 m<sup>2</sup>.

Para el análisis de datos se utilizó programas estadísticos como Rstudio y InfoStat donde se desarrolló una observación minuciosa de los resultados a partir de la estadística descriptiva, análisis multivariado (análisis de componentes principales, análisis clúster), análisis de varianza,

**Tabla 2.**

*Comportamiento climático de precipitaciones gestión 2023/2024*

Gestión	2023	2024	2024	2024	2024	2024
Mes	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Precipitación (mm)	95.20	175.50	147.00	102.50	20.20	4.00

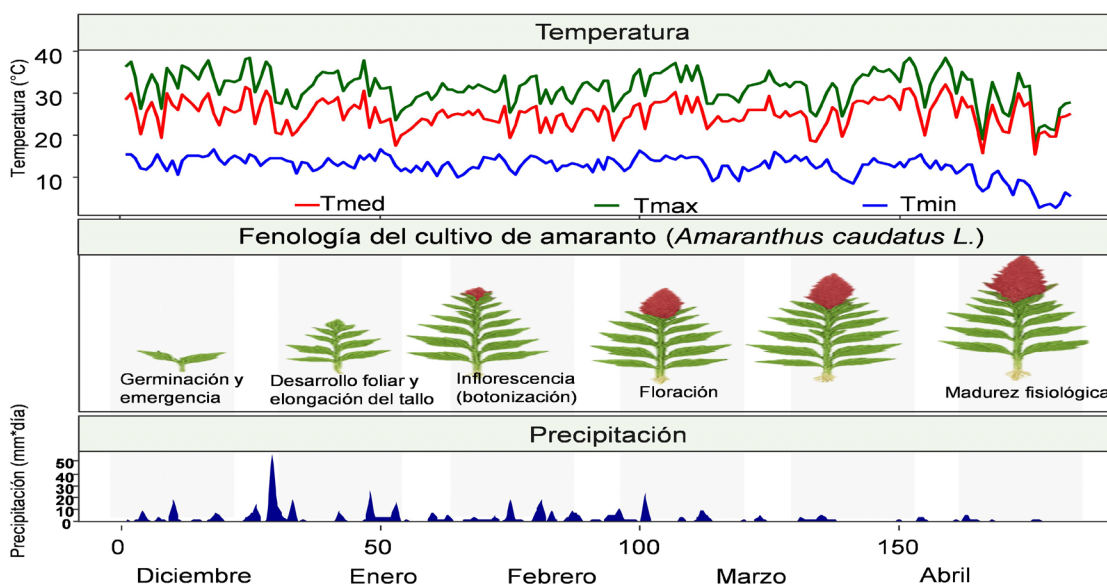
**Nota.** Elaborado con base a datos del SENAMHI (2024)

Sin embargo, en condiciones de temperatura, se registra una máxima de 37 °C y una mínima de 0 °C, con una temperatura media que oscila alrededor de los 15 °C. No obstante Umesh et al. (2019), describen que el ambiente ideal para un desarrollo adecuado se caracteriza por lluvias tempranas y temperaturas entre 20 y 26 °C durante la etapa de emergencia y floración del cultivo, con días cálidos y húmedos. Por las razones antes expuestas, las

condiciones medioambientales de la localidad de Salasar Pampa se constituye en un ambiente adecuado para la etapa de floración y llenado de grano (marzo y abril) debido a la presencia regular de precipitaciones y temperaturas apropiadas para estas fechas. Para la etapa de emergencia y maduración fisiológica, se presentaron temperaturas máximas de 36 °C y precipitaciones entre 0 a 10 mm día<sup>-1</sup>, lo que dificultó de alguna manera el desarrollo de

**Figura 1.**

*Distribución temporal de lluvias, temperaturas y fenología del cultivo*



**Nota.** Con base a datos de precipitación acumulada (mm), (Tmax) Temperatura máxima (C) (Tmed) Temperatura media, (Tmin) Temperatura mínima de la Estación meteorológica (SENAMHI,2024).

algunos genotipos (Figura 1).

### Análisis estadístico descriptivo

Los datos originados a partir de las observaciones del comportamiento de la población expresan características de variabilidad (Tabla 3). En cuanto a los parámetros de normalidad y las medidas de distribución (Asimetría y kurtosis) superan el valor de  $\pm 1$  en las variables DE, DF, DM y PMG las cuales muestran una distribución menos apuntada que la normal, evidenciando un coeficiente de Fisher ne-

gativo. Por otro lado, la variable RDTO presentó un sesgo hacia la izquierda (asimetría negativa) con una distribución leptocúrtica. El rendimiento tuvo un promedio general de 900.79 kg ha<sup>-1</sup> con una mínima y máxima de 432 y 1 056 kg ha<sup>-1</sup> siendo la última con mayor desviación estándar  $\pm 160.45$  mostrando variabilidad entre genotipos precoces a causa del material genético. En tanto a la calidad física peso de 1000 granos PMG se tiene mínimas y máximas de 0.72 a 0.93 g dentro de los rangos obtenidos por Espitia-Rangel et al. (2023).

**Tabla 3.**  
Análisis descriptivo en base a ocho variables cuantitativas

Resumen	DE	DF	DM	AP	LP	DP	PMG	RDTO
Media	7.88	87.73	141.21	69.92	30.69	13.16	0.83	900.79
D.E.	0.96	8.93	8.57	4.08	3.21	1.22	0.06	160.46
CV	12.19	10.18	6.07	5.83	10.47	9.25	6.84	17.81
Mín	7.00	80.00	130.00	60.80	25.40	11.00	0.72	432.00
Máx	9.00	100.00	155.00	76.60	39.00	16.00	0.93	1.056.00
Mediana	7.00	80.00	140.00	69.60	30.00	13.00	0.84	952.00
Asimetría	0.26	0.39	0.15	-0.48	0.74	0.56	-0.22	-2.16
Kurtosis	-1.84	-1.69	-1.42	-0.58	0.09	0.12	-1.09	3.53

**Nota.** DE = días a la emergencia (días), DF = días a la floración (días), DM = días a la madurez fisiológica (días), AP = altura de planta (cm), LP = longitud de panoja (cm), DP = diámetro de panoja (cm), PMG = peso de 1000 granos (g), RDTO = rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>).

### Análisis de varianza

Los resultados en la Tabla 4 evidencian diferenciaron estadísticas significativas entre los tratamientos como en el factor de variación asociado a los bloques. Esto indica que los genotipos de amaranto evaluados presentan

variabilidad en sus características, lo que es crucial para la identificación de genotipos precoces. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mostró valores altos, lo que sugiere que la mayoría de la variabilidad observada se debe a las diferencias entre los tratamientos. El coeficiente de variación (CV) se mantuvo dentro de rangos aceptables, lo que respalda la precisión de las mediciones.

**Tabla 4.**  
Análisis de varianza de diez genotipos precoces de amaranto

FV	GL	P-valores							
		DE	DF	DM	AP	LP	DP	PMG	RDTO
<b>Bloq</b>	2	0.3259 <sup>NS</sup>	0.6721 <sup>NS</sup>	0.9555 <sup>NS</sup>	0.0673 <sup>NS</sup>	0.2895 <sup>NS</sup>	0.0091 <sup>**</sup>	0.0888 <sup>NS</sup>	0.0001 <sup>**</sup>
<b>Trat</b>	10	0.0001 <sup>**</sup>	0.0001 <sup>**</sup>	0.0001 <sup>**</sup>	0.4291 <sup>NS</sup>	0.0337 <sup>*</sup>	0.088 <sup>NS</sup>	0.0001 <sup>**</sup>	0.0001 <sup>**</sup>
<b>CV</b>	(%)	5.37	2.70	2.88	5.43	8.51	7.25	3.07	0.50
<b>R<sup>2</sup></b>	(%)	88.00	96.00	86.00	46.00	59.00	62.00	87.00	100.00

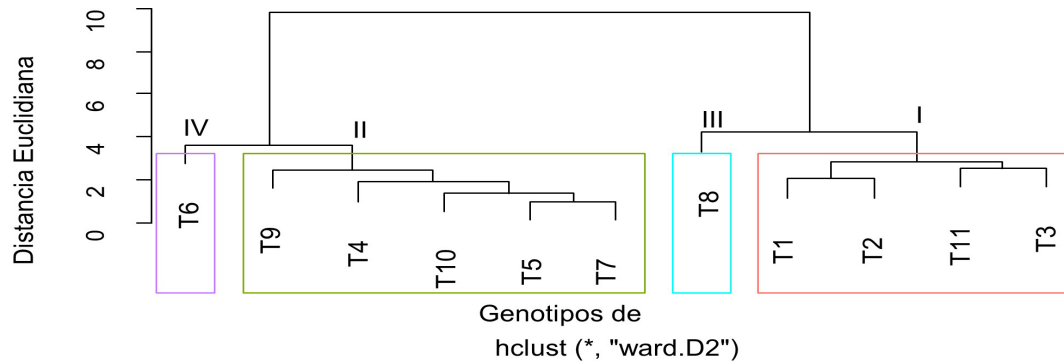
**Nota.** FV = Fuente de variación; Bloq = Bloques; Trat = Tratamientos; CV = Coeficiente de variación; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación GL = Grados de libertad; DE = días a la emergencia (días), DF = días a la floración (días), DM = días a la madurez fisiológica (días), AP = altura de planta (cm), LP = longitud de panoja (cm), DP = diámetro de panoja (cm), PMG = peso de 1000 granos (g), RDTO = rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>).

### Análisis multivariado

A través del análisis multivariado (método de Ward) se agrupó los 11 genotipos de amaranto según sus características agronómicas y para corroborar la similitud entre los genotipos, se aplicó el análisis de componentes principales (Figura 3). El análisis por dendrograma (Figura 2), se basa en la

recomendación de Castillo et al. (2023), utilizando un corte de 3.14 con resultados agrupados en cuatro grupos, el primero conformado por los genotipos BOL 3998, BOL 3987, Testigo y BOL 3996. El tercero y cuarto incluye únicamente a los genotipos BOL 4027 y BOL 4039 y en el segundo grupo se agrupan los BOL 4008, BOL 3993, BOL 4047, BOL 4051 y BOL 4025 respectivamente.

**Figura 2.**  
Dendrograma método Ward



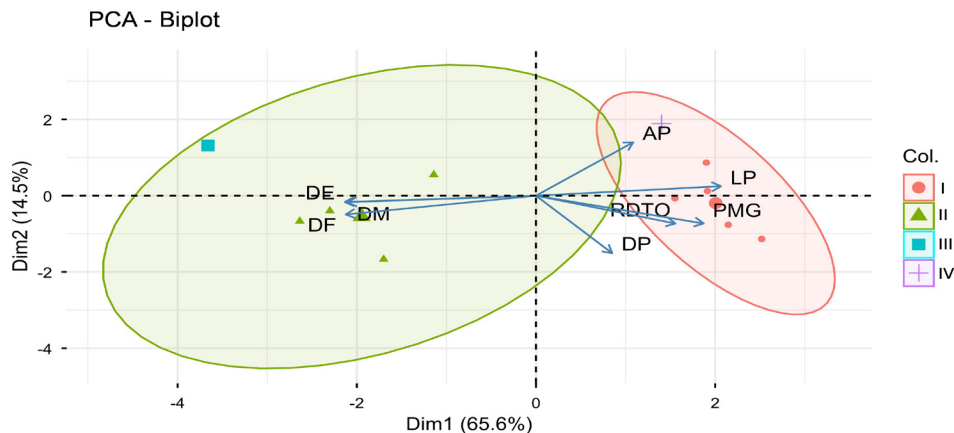
**Nota.** T1 = BOL 3998, T2 = BOL 3987, T3 = BOL 3996, T4 = BOL 3993, T5 = BOL 4051, T6 = BOL 4039, T7 = BOL 4025, T8 = BOL 4027, T9 = BOL 4008, T10 = BOL 4047, T11 = Testigo.

### Análisis de componentes principales

La Figura 3 del análisis de componentes principales (ACP) de la varianza total explicada por los dos primeros componentes es 80.1 % cuyo valor propio es aceptable en la varianza total explicada

por (Rojas, 2003). El primero revela 65.6 % y actúa como eje principal discriminador, donde los genotipos ubicados en el extremo negativo T4 = BOL 3993, T10 = BOL 4047 y T7 = BOL 4025 muestran características asociadas a ciclos cortos (DE, DF y DM), sugiriendo su precocidad y productividad

**Figura 3.**  
Análisis Biplot de los componentes principales del comportamiento agronómico de diez genotipos precoces de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.), evaluadas en el municipio de Alcalá del departamento de Chuquisaca durante la campaña agrícola 2023-2024.



**Nota.** Las variables agronómicas evaluadas fueron: DE = días a la emergencia (días), DF = días a la floración (días), DM = días a la madurez fisiológica (días), AP = altura de planta (cm), LP = longitud de panoja (cm), DP = diámetro de panoja (cm), PMG = peso de 1000 granos (g), RDTG = rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>).

en un clúster. El segundo componente con 14.5 % se basó en los mencionados por Villarroel et al. (2003), indicando a los tratamientos T11 = Testigo, T1 = BOL 3998 y T2 = BOL 3987 como los más tardíos (DF vs DM). La posición de altura de planta (AP), diámetro de panoja (DP), longitud de panoja (LP) no contribuyen significativamente a la precocidad mencionado por (Maji y Shaibu, 2012; Pardo, 2020). De acuerdo con Álvarez Beltrán et al. (2008) y Fernández et al. (2021) los datos con PCA identifican resultados más influyentes y consistentes. Al respecto Balzarini et al. (2008) y Olivoto et al., (2022) describen en estudios realizados en sistemas de mejoramiento genético al

análisis multivariado para identificar genotipos con alta eficiencia agronómica.

#### **Análisis estadístico multivariado y matriz de comparación**

Los resultados de la Tabla 5, basados en los estadísticos multivariados (Wilks, Pillai, Lawley-Hotelling o Roy), evidencian efectos altamente significativos ( $P < 0.0001$ ) por lo que se rechaza la hipótesis nula en todos los casos y se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y variables de interés. De acuerdo con Balzarini et al. (2008) y Hair et al. (1998), la concordancia entre los estadísticos multivariados refuerza la robustez del análisis, indicando que las diferencias observadas responden a patrones consistentes y se justifica como complemento la

**Tabla 5.**  
*Análisis estadístico multivariado de un conjunto de varianzas*

F.V	Estadístico F		gl(num)	gl(den)	p
Análisis de la varianza (Wilks)					
Conglomerado	7.60E-04	29.2	24	64	<0.0001
Análisis de la varianza (Pillai)					
Conglomerado	2.49	14.66	24	72	<0.0001
Análisis de la varianza (Lawley-Hotelling)					
Conglomerado	58.96	50.77	24	62	<0.0001
Análisis de la varianza (Roy)					
Conglomerado	47.82	143.5	8	24	<0.0001

**Nota.** FV = Fuente de Variación, F.: gl (num): grados de libertad del Numerador, gl (den): grados de libertad del denominador, P: Indica la significancia estadística (cm)

En los resultados de la Tabla 6, se presenta un análisis multivariado mediante la prueba de Hotelling (alfa: 0.05) que muestran diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos T4 = BOL 3993, T7 = BOL 4025, T9 = BOL 4008, T5 = BOL 4051 y T10 = BOL 4047 destacan por su precocidad, alto rendimiento y calidad del grano correspondientes al conglomerado II de la Figura 2, similar a los obtenidos por Ortiz y Argumedeo (2024), con resultados significativos ( $P < 0,5$ ) lo cual los posiciona como los genotipos más prometedores para condiciones de producción que priorizan ciclos cortos y altos rendimientos.

#### **Matriz de coeficiente de correlación múltiple**

En el análisis estadístico de los datos obtenidos en

la investigación, se identificaron 36 correlaciones, las variables que influyeron en la precocidad son: días a emergencia (DE), días a la floración (DF), días a la madurez fisiológica (DM) y rendimiento (RDTO) (Figura 4). De acuerdo con Tito y Hidalgo (2003), para datos biológicos se considera un parámetro de 0.4 un grado de asociación que presenta patrones aceptables y los obtenidos están dentro de los rangos. Las correlaciones más destacadas se tienen días a emergencia con: días a floración ( $r = 0.88$ ), días a maduración (0.83), con correlaciones muy altas y positivas entre si lo que significa que cuando un genotipo tarda más en emerger, también tarda más en florecer y madurar por lo que valores menores en correlación son variables más precoces. La precocidad mostró también estar asociada negativamente con las

variables días a emergencia, días a floración, días a maduración con el componente de rendimiento con correlaciones negativas de ( $r = -0.63$ ;  $r = -0.53$ ;  $r = -0.57$ ), este factor se debe a condiciones de genética y que en algún momento de su desarrollo fisiológico las condiciones genéticas y climatológicas tuvieron que influir por lo que se traduce en incremento del rendimiento en grano, al respecto Maamri et al.

(2022) y Rodríguez-García et al. (2017) mencionan que es aceptable por el comportamiento del cultivo y los coeficientes genéticos. Otra asociación que destacar es entre longitud de panoja con rendimiento con una correlación alta de ( $r = 0.47$ ) lo que señala a mayor longitud de panoja contribuye a una mayor producción de granos (Figura 4).

**Tabla 6.**

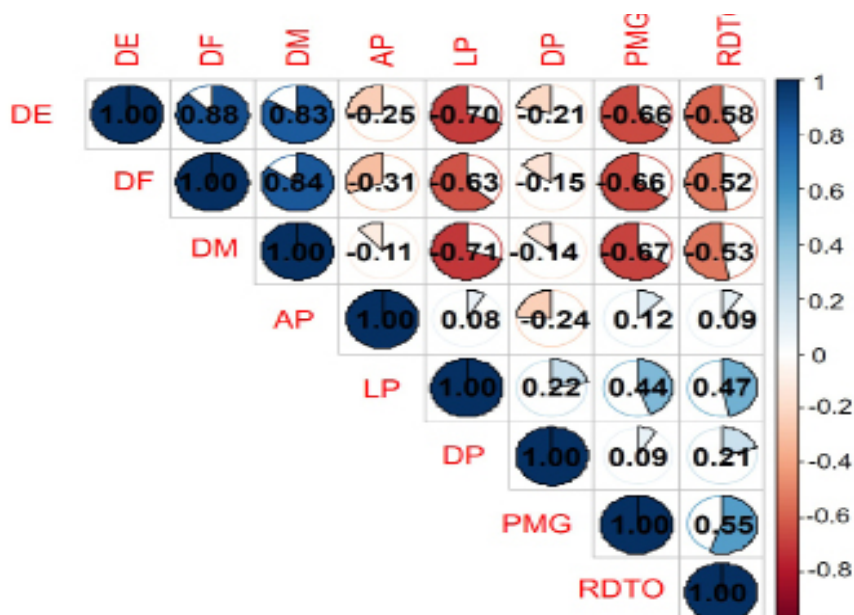
*Análisis multivariado Hotelling (Alfa = 0.05) de variables agronómicas de genotipos precoces de amaranto*

Trat	DE	DF	DM	AP	LP	DP	PMG	RDTO
T8	9	97	150	68.5	27.1	11.9	0.77	443.3
T3	8	93	150	72.1	29.3	13.1	0.8	911.3
T6	8	80	135	74.9	33.3	13.1	0.8	902.7
T1	9	100	150	66.3	28.1	12.3	0.78	975
T9	7	80	133	69.3	34.1	14.4	0.89	965.3
T5	7	80	135	68.8	31.8	12.9	0.88	954.3
T2	9	97	148	68.7	28.4	13.4	0.75	845
T11	9	98	150	68.6	29	14.3	0.84	845.7
T7	7	80	133	70.8	31.8	13.2	0.87	1 007 00
T4	7	80	137	71	33.5	12.4	0.87	1 02 00
T10	7	80	132	70.1	31.3	13.8	0.9	1 038 00

**Nota.** DE = días a la emergencia (días), DF = días a la floración (días), DM = días a la madurez fisiológica (días), AP = altura de planta (cm), LP = longitud de panoja (cm), DP = diámetro de panoja (cm), PMG = peso de 1000 granos (g), RDTO = rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), Trat = Tratamiento

**Figura 4.**

*Matriz de coeficiente de correlación múltiple para las variables*



**Nota.** DE = días a la emergencia (días), DF = días a la floración (días), DM = días a la madurez fisiológica (días), AP = altura de planta (cm), LP = longitud de panoja (cm), DP = diámetro de panoja (cm), PMG = peso de 1000 granos (g), RDT = rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). El color de los cuadrantes indica la intensidad de la correlación entre dos variables.

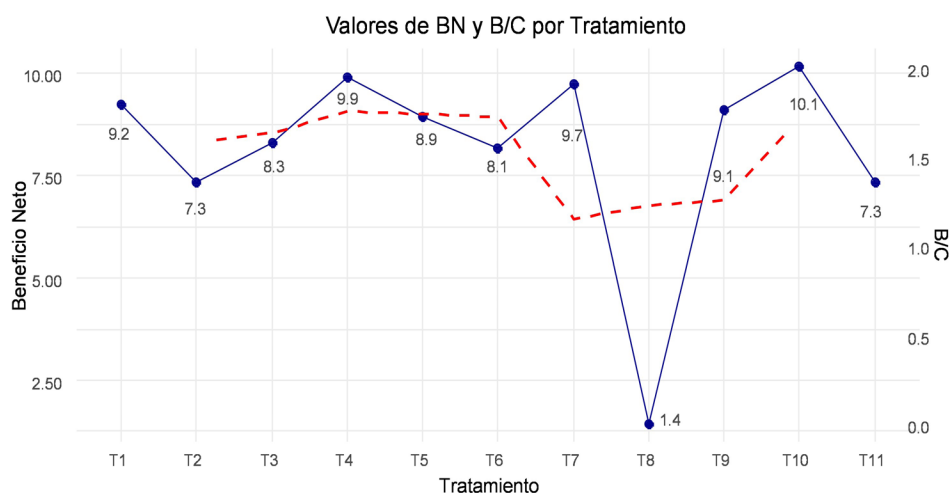
## Análisis del efecto de la investigación en la productividad del rubro

En la Figura 5, se observa valores de producción por tratamiento siendo el genotipo precoz T10 = BOL 4047 que mostró la mayor rentabilidad con un beneficio neto de 10 185 5 Bs y el más bajo se logra en T8 = BOL 4027 con 1 442 4 Bs lo que indica la obtención de bajos rendimientos. Por otro lado, en cuanto a la relación beneficio costo

(B/C) para los tratamientos se observa que no todos son rentables económicamente, debido a que no se obtuvieron rendimientos homogéneos discusión propuesta por (Reyes, 2002) Sin embargo, se puede recalcar que el T10 = BOL 4047 es el más rentable con 2.01 Bs (B/C>1) lo que se traduce en cada boliviano invertido, se recupera ese boliviano y además se tiene una ganancia de 1.01 Bs; así mismo podemos observar que el T8 = BOL 4027 no logró ser

Figura 5.

Variación del beneficio neto y B/C entre genotipos precoces



## CONCLUSIONES

La evaluación de diez genotipos de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) basado en las características agronómicas de precocidad mostró diferencias estadísticas significativas bajo las condiciones climatológicas de la comunidad de Salazar Pampa del municipio de Alcalá, Chuquisaca, Bolivia. Los genotipos promisorios identificados en términos de precocidad fueron los tratamientos T10 = BOL 4047, T4 = BOL 3993 y T7 = BOL 4025, debido a que presentaron una madurez fisiológica de un 12 % con 132 a 137 días a la madurez con rendimientos superiores a los 900 kg ha<sup>-1</sup>, siendo el T10 el más sobresaliente con 1 038 kg ha<sup>-1</sup>. En contraste, T1 = BOL 3998,

T2 = BOL 3987, T3 = BOL 3996, T8 = BOL 4027 presentaron ciclos prolongados de 148 a 150 días y menor rendimiento, en el T8 con solo 443 kg ha<sup>-1</sup>. En este contexto, los genotipos T10 = BOL 4047, T4 = BOL 3993 y T7 = 4025, evidencian alto potencial agronómico para futuros programas de mejoramiento genético, debido a su alta precocidad y rendimiento. Además, se sugiere implementar evaluaciones adicionales bajo diferentes condiciones para corroborar la estabilidad de su desempeño y ampliar su adaptabilidad. Asimismo, es importante continuar con el análisis estadístico riguroso mediante métodos multivariantes más avanzados para identificar los genotipos más prometedores y descartar aquellos con rendimiento limitado, como T8 = BOL4027.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Beltrán, E., Martínez Bautista, H., y López Torrez, B. J. (2008). Análisis de redes organizacionales estafa herramientas multicriterio y análisis de componentes principales. *Educar*, (41), 143. <https://doi.org/10.5565/REV>
- Ayala-Garay, A. V., Espitia-Rangel, E., Marín-Vázquez, E., y Almaguer-Vargas, G. (2025). Análisis del sistema de producción de amaranto en Huixcazhdá, Hidalgo, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 22(1), 93–106. <https://doi.org/10.22231/ASYD.V2211.1681>
- Balzarini, M. G., Di Rienzo, J. A., y Robledo, C. W. (2008). *Infostat: manual del usuario*. INFOSTAD. [https://www.researchgate.net/publication/283491340\\_Infostat\\_manual\\_del\\_usuario](https://www.researchgate.net/publication/283491340_Infostat_manual_del_usuario)
- Becerril, S. L., y Becerra, C. I. M. (2026). Amaranto agroecológico: Resiliencia, eficiencia y potencial biotecnológico frente al cambio climático. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1–14. <https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/1048/233>
- Calderón Vásquez, S. (2017). Estudio físico-químico del grano de amaranto (*Amaranthus caudatus*), variedad Óscar Blanco para su aprovechamiento con fines industriales. [Universidad Mayor de San Andrés]. [https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/12117/P\\_G-1843-Calder%C3%B3n%20V%C3%A1squez%2C%20Sonia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/12117/P_G-1843-Calder%C3%B3n%20V%C3%A1squez%2C%20Sonia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Castillo, E., Mercedes, K., Condori, M., Paye Zeballos, N., Carmen, D., Silva, U., y Melania, S. (2023, April 28). *Elaboración de dendogramas a partir de artículos científicos utilizando el programa bioinformático MEGA DNA*. <https://www.calameo.com/books/0072759335b949b461cfe>
- Corke, H., Cai, Y. Z., y Wu, H. X. (2015). Future grain crops. *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*, 1–4, 287–296. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00032-2>
- Dzib, L., Segura, J., Ortega, R., y Latournerie, L. (2018). Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de maíz de Yucatán y poblaciones mejoradas. *Agroecosistemas Tropicales y Subtropicales*, 14(1), 119–127. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/660>
- Espitia-Rangel, E., Lozano-Grande, A., Aguilar-Delgado, M., Valverde-Ramos, M., González-Molina, L., y Martínez-Cruz, E. (2023). Evaluación de la capacidad de reventado de genotipos de amaranto y parámetros genéticos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6). <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V14I6.3429>
- Fernández, L., Rangel, L., Varela, M., Pino, A., Pozo, J., y Lim, N. (2021). Análisis de componentes principales, una herramienta eficaz en las Ciencias Técnicas Agropecuarias. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(1), 1–6. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542022000100010&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542022000100010&script=sci_arttext)
- Gomes, V. M. de V., Mesquita, R. O., Nunes, L. R., y Innecco, R. (2024). Rendimiento agronómico del amaranto de grano en la región semiárida en función de la disposición de siembra. *Revista Caatinga*, 37, 1–22. <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v3711913rc>
- Hair, J. F., Tatham, R. L., Anderson, R. E., y Black, W. (1998). *Multivariate Data Analysis*. 11o Congresso Da Fundação

*Otorrinolaringología*, 730.

- Hernandez, T. A., López, J., Estrada, B., Reséndiz, Z., Coronado, J., y Malvar, R. (2023). Aptitud combinatoria y efectos recíprocos de la precocidad en poblaciones nativas de maíz de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 171–183. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V14I2.2990>
- López, E., y González, B. (2016). *Diseño y análisis de experimentos: fundamentos y aplicaciones en agronomía*. [http://cete.fausac.gt/wp-content/uploads/2020/11/Diseno\\_y\\_Analisis\\_de\\_Experimentos\\_2016a.pdf](http://cete.fausac.gt/wp-content/uploads/2020/11/Diseno_y_Analisis_de_Experimentos_2016a.pdf)
- Maamri, K., Zidane, O. D., Chaabena, A., Fiene, G., Bazile, D., Maamri, K., Zidane, O. D., Chaabena, A., Fiene, G., y Bazile, D. (2022). Adaptation of Some Quinoa Genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.), Grown in a Saharan Climate in Algeria. *Life* 2022, 12(11). <https://doi.org/10.3390/LIFE12111854>
- Maji, A., y Shaibu, A. (2012). Application of principal component analysis for rice germplasm characterization and evaluation. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4(6), 87–93. <https://doi.org/10.5897/JPBCS11.093>
- Olivoto, T., Diel, M. I., Schmidt, D., y Lúcio, A. D. (2022). MGIDI: a powerful tool to analyze plant multivariate data. *Plant Methods* 2022 18:1, 18(1), 121-. <https://doi.org/10.1186/S13007-022-00952-5>
- Ortiz, T. E., y Argumedo, M. A. (2024). Efecto del tamaño de grano y genotipo sobre el volumen de reventado en amaranto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 47(4-A), 431–431. <https://doi.org/10.35196/RFM.2024.4-A.431>
- Pardo, C. E. (2020). Estadística descriptiva multivariada. In *Estadística Descriptiva Multivariada*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79914/2.%20>
- [Estadística Descriptiva Multivariada. pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V14I2.2990)
- Rangel, E., Sesma, L., Valverde, M., González, L., Escobedo, D., y Aguilar, M. (2021). Tiene el amaranto el potencial agronómico para ser un fenómeno mundial como la quinua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1459–1471. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V12I8.2897>
- Reyes, M. (2002). *Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales: Re-enseñando el uso de este enfoque*. La Calera. <https://lacalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/28>
- Rodríguez-García, R., Cortez-Maldonado, V., Jasso-Cantú, D., Peña-Ramos, F. M., y Zermeño-González, A. (2017). Simulación del crecimiento y rendimiento de trigo (*Triticum turgidum* L.) Júpate c2001 con el modelo CERES-trigo. *Agraria*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.59741/AGRARIA.V14I1.526>
- Rojas, W. (2003). *Análisis de la variabilidad genética en quinua*. Boletín Técnico IPGRI No. 8., 30. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/40ad97cf-daba-48d0-a80f-2b1d9803c738/content>
- Romero, C., Ocampo, J., Sandoval, E., Navarro, H., Franco, O., y Calderón, F. (2017). Fertilización orgánica-mineral del cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1759–1771. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V8I8.700>
- SENAMHI. (2024). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología . <https://senamhi.gob.bo/index.php/sysparametros>
- Tito, franco, y Hidalgo, R. (2003). Análisis estadístico

de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Instituto *Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)*, 8, 27–28. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/40ad97cf-daba-48d0-a80f-2b1d9803c738/content>

Umesh, M. R., Angadi, S., Gowda, P., Ghimire, R., y Begna, S. (2019). Climate-Resilient Minor Crops for Food Security. *Agronomic Crops: Volume 1: Production Technologies*, 19–32. [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9151-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9151-5_2)

Uriarte, R., Esquivel, J., Lacayo, M., y Jarquín, M. (2023). Evaluación de variables de crecimiento vegetativo de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) variedad Amaranteca en el Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. *Revista Torreón Universitario*, 12(34), 140–148. <https://doi.org/10.5377/RTU.V12I34.16379>

Villarroel, L., Alvarez, J., y Maldonado, D. (2003). Aplicación del Análisis de Componentes Principales en el Desarrollo de Productos. *Acta Nova*, 2(3), 399–408. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892003000200007&lng=es&nrm=iso&tln g=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892003000200007&lng=es&nrm=iso&tln g=es)

Artículo recibido en: 6 de abril del 2026

Aceptado en: 22 de abril del 2026