



Caracterización agronómica de materiales extraterritoriales de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la provincia Bolívar

Agronomic characterization of extraterritorial materials of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Bolivar province

Silva-García, David¹

Rodríguez-Maldonado, Eduardo¹

Román-Ramos, Andrea^{1*}

¹Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico "Alpachaca", Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Bolívar, Ecuador

Recibido: 24 May. 2024 | Aceptado: 04 Jul. 2024 | Publicado: 10 Jul. 2024

Autor de correspondencia*: aroman@ueb.edu.ec

Cómo citar este artículo: Silva-García, D., Rodríguez-Maldonado, E. & Román-Ramos, A. (2024). Caracterización agronómica de materiales extraterritoriales de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la provincia Bolívar. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 4(2), e748. <https://doi.org/10.51252/raa.v4i2.748>

RESUMEN

La quinua originaria de Sudamérica ha tomado importancia en los últimos años dentro de los sistemas de producción debido a su importancia económica y valor nutricional. En la región andina del Ecuador se encuentran materiales de quinua con características potenciales para ser usados. En este contexto, la provincia de Bolívar tiene condiciones edafoclimáticas para producción, por lo que es importante la caracterización agromorfológica de germoplasma que permitan la diversificación de los sistemas productivos en esta provincia. La investigación se realizó con el objetivo de caracterizar accesiones potenciales de quinua por sus características agromorfológicas. El diseño estadístico utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los resultados evidenciaron que las variables como la altura de planta, peso del grano por planta y de mil granos están relacionadas con el rendimiento. El mayor rendimiento fue para el cultivar LPQ-4 con 1444 kg ha⁻¹ con un contenido medio de saponina, grano de color blanco, forma redonda y tamaño grande. Se seleccionaron a las accesiones LPQ-4, CQ-407 Pasankalla y Quinoa Negra como germoplasma promisorio para diversificar los sistemas de producción de la provincia de Bolívar para abastecer el mercado local, nacional e internacional.

Palabras clave: exportación; genotipo; saponinas; pseudocereal; valor nutricional

ABSTRACT

Quinoa, native to South America, has gained importance in recent years within production systems due to its economic significance and nutritional value. In the Andean region of Ecuador, quinoa varieties with potential characteristics for use can be found. In this context, Bolívar province has suitable soil and climatic conditions for production, making the agromorphological characterization of germplasm important to diversify the production systems in this province. The research aimed to characterize promising quinoa accessions based on their agromorphological traits. A randomized complete block design with three replications was used. The results showed that variables such as plant height, grain weight per plant, and weight of mil grains are related to yield. The highest yield was achieved by the cultivar LPQ-4, with 1,444 kg ha⁻¹, with a medium saponin content, white grain color, round shape, and large size. The accessions LPQ-4, CQ-407 Pasankalla, and Quinoa Negra were selected as promising germplasm to diversify the production systems in Bolívar province, catering to local, national, and international markets.

Keywords: exportation; genotype; saponins; pseudocereal; nutritional value



1. INTRODUCCIÓN

La quinua es cultivada en el continente sudamericano en países como Bolivia, Perú y Ecuador y además se estudia su adaptabilidad en 95 países, por ejemplo, Tíbet, Marruecos, Francia, India, China, Reino Unido, Suecia, Dinamarca, Países Bajos e Italia (Bazile et al., 2016; Afzal et al., 2023). La quinua es considerada un alimento de alta calidad por el contenido de proteínas que puede aportar a la dieta del ser humano (Arguello-Hernández et al., 2024), así como al ser un alimento sin contenido de gluten distingue a este cultivo de otros (Arguello-Hernández et al., 2024; Nowak et al., 2016).

En Ecuador al año 2022 alrededor de 3600 productores principalmente distribuidos en las provincias de Sierra Centro del país se dedican al cultivo de quinua, estimando que se llegaron a exportar 1291 toneladas por un valor equivalente a 3 millones de dólares (MAG, 2022). En este contexto, Ecuador se ubica entre los 10 principales exportadores mundiales de este pseudocereal, listado que es encabezado por Perú, seguido de Bolivia, Países Bajos y Estados Unidos. Los principales destinos de la oferta exportable del Ecuador para este rubro lo constituyen Israel (39%), Estados Unidos (27%), Canadá (22%) y Países Bajos (4%). Los sistemas de producción de la quinua se caracterizan por manejar superficies menores a una hectárea en el 96% de los casos; los rendimientos en el contexto regional, ubican al Ecuador en el segundo lugar con 1.05 Tm por ha frente a Perú que alcanza en promedio 1.57 Tm por ha (MAG, 2022).

La mayor diversidad de las Chenopodiaceae es el Altiplano peruano boliviano (Murphy & Matanguihan, 2015). De esta forma, para la búsqueda de nuevos materiales es imprescindible la selección de genotipos existentes y que presenten características adecuadas (Mujica, 2005). Existen alrededor de 74 descriptores para la caracterización del cultivo de quinua, sin embargo, se ha determinado que los caracteres morfológicos y de calidad que más inciden son: el número de panojas por planta, altura de la planta y el diámetro de tallo, además de días a madurez desde la siembra, largo de panoja y número de ramificaciones por planta (Stanschewski et al., 2021).

Otra característica de importancia en este cultivo es la presencia de alto contenido de saponinas por lo que el mejoramiento genético busca nuevos materiales dulces con menos contenido de saponinas (Pathan & Siddiqui, 2022). En los últimos años el incremento de severidad de mildiu causado por *Peronospora farinosa* (Fr.) Fr que ocasiona la defoliación de la planta, afecta el desarrollo general de la planta y reducción del rendimiento entre el 10% y 30% (Danielsen et al., 2004).

La resistencia a esta enfermedad se ha convertido en un objetivo clave en el proceso de mejora genética de la quinua (Rojas et al., 2016). Sin embargo, las accesiones con mayor resistencia suelen presentar un ciclo largo, grano pequeño y con frecuencia, color oscuro. Por lo que se sugiere que la combinación de estos materiales se realice a través de cruzamientos dirigidos o por cruzamientos con especies silvestres como *C. hircinum*, *C. petiolare*, *C. album* y *C. ambrosioides* que contienen genes de resistencia al mildiu (Mujica-Sanchez et al., 2001).

En la provincia de Bolívar el cultivo de la quinua aún no se ha difundido como en otras provincias del Ecuador. No obstante, las condiciones edafoclimáticas permiten que se pueda realizar diversificación en las zonas de producción, siendo importante probar materiales y encontrar características potenciales para la provincia. Planteándose que el mejoramiento genético de la quinua mediante la introducción de accesiones tolerantes al mildiu y con bajo contenido de saponinas, permitirá obtener variedades con mayor rendimiento y adaptadas a las condiciones edafoclimáticas locales, fomentando así la expansión del cultivo en esta en la provincia de Bolívar. Por lo indicado, el objetivo de esta investigación fue caracterizar potenciales accesiones de quinua de acuerdo a sus características agronómicas, morfológicas y sanitarias para la provincia de Bolívar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del ensayo y condiciones edafoclimáticas

Esta investigación fue realizada en el año 2022 en el sector Laguacoto III (01° 36' 47.11.32" S y 78°59'36.6936" W), parroquia Veintimilla, cantón Guaranda, provincia Bolívar, a una altitud de 2650 msnm. Presenta condiciones climáticas y edáficas promedio y representativas de otras zonas de producción, esto es una precipitación de 900 mm por año, una temperatura media de 14°C, humedad relativa del 70 %, pH de suelo 7.11 y tipo de suelo franco arenoso.

2.2. Material vegetal

Se emplearon semillas de quinua procedentes de la Organización TUCAYTA del Cañar (Tabla 1).

Tabla 1.

Germoplasma de quinua evaluadas

| N° de tratamiento | Accesión |
|-------------------|-------------------------|
| T1 | LPQ-4 |
| T2 | Titicaca Tallo Amarillo |
| T3 | Titicaca Tallo Rojo |
| T4 | QQ-74 Misa Misa |
| T5 | Puno Pasankalla |
| T6 | CQ-407 Pasankalla |
| T7 | Quinua Negra |
| T8 | UEB Crema |

2.3. Diseño y manejo del experimento

Se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones. El germoplasma de quinua fue considerado como tratamientos (Tabla 1).

La preparación del suelo se realizó a los 15 días antes de la siembra con ayuda de un tractor agrícola con un pase de arado de disco, rastra y nivelación con rastrillos. La distancia de siembra utilizada fue de 0,80 m × 0,15 m en forma manual a chorro continuo, a una profundidad de 4 cm y tapado con rastrillos. La cantidad de semilla usada fue de 12 kg ha⁻¹, garantizando tener 20 plantas por metro lineal. La semilla fue desinfectada antes de la siembra con *CARBOVAX* (*Carboxin* y *Thiram*; *ECUAQUIMICA*) en una dosis de 1.2 L ha⁻¹. La siembra del experimento se realizó el 20 de noviembre del 2021 de forma manual. El control de malezas se realizó en forma manual a los 30 y 60 días. Para manejo de plagas se utilizó el insecticida *CYPERPAC* (Cipermetrina; *AGRIPAC*) a los 20 y 40 días después de la siembra en dosis de 1.5 cc L⁻¹. La fertilización química se realizó con 100 kg de 18 46 00, 150 kg de urea y 50 kg de Sulpomag ha⁻¹; el 50% fue aplicado a los 30 y el restante a los 60 días junto con el aporte.

La cosecha se realizó en la madurez fisiológica de cada unidad experimental. Posteriormente se realizó la trilla en forma manual. El almacenamiento se realizó en sacos de tela controlando la humedad hasta el momento de realizar las evaluaciones.

2.4. Determinación de variables agronómicas

Las variables fueron evaluadas de acuerdo Bioversity International (2013) en los estadios de cereales según las etapas fenológicas según Murillo et al. (2023), como se describe a continuación:

Días a la emergencia de plántulas (DE): Se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta cuando aproximadamente el 50 % de las plántulas hayan emergido en toda la parcela.

Días al panojamiento (DP): Fueron evaluadas 10 plantas al azar en el surco central de cada tratamiento con más del 50% de la formación de la panoja de quinua, fue registrado en días.

Días a la floración (DF): Fueron evaluadas 10 plantas al azar cuando las plantas presentaron más del 50% de panojas florecidas, fue registrado en días.

Altura de planta (AP): Fueron evaluadas 10 plantas tomadas al azar de cada parcela midiendo la altura con un flexómetro desde la base del tallo hasta el ápice de la panoja; durante el llenado del grano, se expresó en cm.

Días a la cosecha (DC): Se determinó los días transcurridos desde la siembra hasta cuando más del 50% de las plantas presentaron el grano harinoso lo cual es un indicador de madurez cosecha.

Porcentaje de acame de raíz (PAR): De una muestra al azar de 100 plantas de cada parcela se cuantificó el total de plantas que presentaron una inclinación de 45° fue evaluada antes de la cosecha en la etapa 13 (madurez cosecha), se expresó en porcentaje.

Porcentaje de acame de tallo (PAT): De una muestra al azar de 100 plantas de cada parcela se cuantificó el total de plantas con tallos rotos, fue evaluada antes de la cosecha en la etapa 13 (madurez cosecha), se expresó en porcentaje.

2.5. Determinación de variables de rendimiento

Longitud de la panoja (LP): 10 plantas tomadas al azar de cada tratamiento fueron evaluadas con un flexómetro desde la base floral hasta el ápice, se expresó en cm.

Diámetro de la panoja (DPA): 10 plantas tomadas al azar de cada tratamiento fueron evaluadas con un flexómetro, tomando la medida en el punto más ancho de la panoja (diámetro ecuatorial), fue registrada en la etapa 12 (madurez fisiológica), se expresó en cm.

Peso del grano por planta (PGP): Fueron cosechadas por separado de 10 plantas de cada unidad experimental, se trillaron y aventaron antes de la etapa 13 (madurez cosecha). Luego fueron pesadas en una balanza analítica (ADAM; 2000 g), el peso fue expresado en gramos (g).

Peso de mil granos (PMG): Se procedió a tomar una muestra al azar de mil granos de cada unidad experimental y se pesaron en una balanza analítica (ADAM; 2000 g), el peso fue expresado en gramos (g).

Rendimiento por hectárea (REN): Luego de la cosecha de la parcela con el grano limpio, fue pesado el total cosechado en una balanza analítica (ADAM; 2000 g), los valores fueron ajustados al 13% de humedad, el peso fue expresado en kg ha⁻¹.

2.6. Determinación de severidad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)

La evaluación de severidad fue realizada en 10 plantas tomadas al azar en tres hojas desde la parte media hacia la formación de la panoja con la ayuda de una escala de severidad (Inguilán & Pantoja, 2007). Se realizaron tres evaluaciones o lecturas a lo largo del ciclo del cultivo durante la etapa 7 (panojamiento), etapa 9 (floración) y etapa 10 (grano lechoso) de grano. Los datos de severidad luego fueron utilizados para calcular ABCPE de acuerdo a la fórmula de Shaner & Finney (1977).

2.7. Contenido de saponina (CS)

El contenido de saponina fue determinado en una muestra representativa del grano cosechado, de acuerdo al protocolo de Koziol (1990). Donde 0,5 g de grano de quinua fueron colocados en un tubo de ensayo de 20 mL, al que se añadieron 5 mL de agua destilada y se agitó vigorosamente durante 30 segundos, seguido de 10 segundos de reposo. La altura de la columna de espuma fue medida y se expresó en cm. Para calcular el CS se aplicó la fórmula de acuerdo a la Norma Boliviana INEN 1672 INEN (1988) como sigue:

$$\% \text{ de saponina} = \frac{(0.646 \times h) - 0.104}{m \times 10}$$

Donde:

h = Altura de la espuma en cm

m = Masa en g

Valores: 0.646; 0.104 y 10, son constantes.

2.8. Análisis de Datos

Se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) como criterio de clasificación de los genotipos, extrayendo las correlaciones y definiendo el número de componentes. Posteriormente se procedió a realizar un análisis de conglomerados a partir de las variables del ACP determinadas como criterios de agrupamiento. Todos los análisis estadísticos y la elaboración gráfica fueron realizados en el programa estadístico Infostat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2011).

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de Componentes Principales

El ACP para las variedades de quinua mostró que las variables que explican el 53.1% de la variación fueron DE, DP, DF, DC, AP, LP, DPA y PAT, mientras que las variables PMG, REN, CS y ABCPE explicaron el 20.5% (Figura 1). Las variables estudiadas permiten clasificar a las variedades de quinua para su adaptación para la zona de cultivo de la provincia de Bolívar.

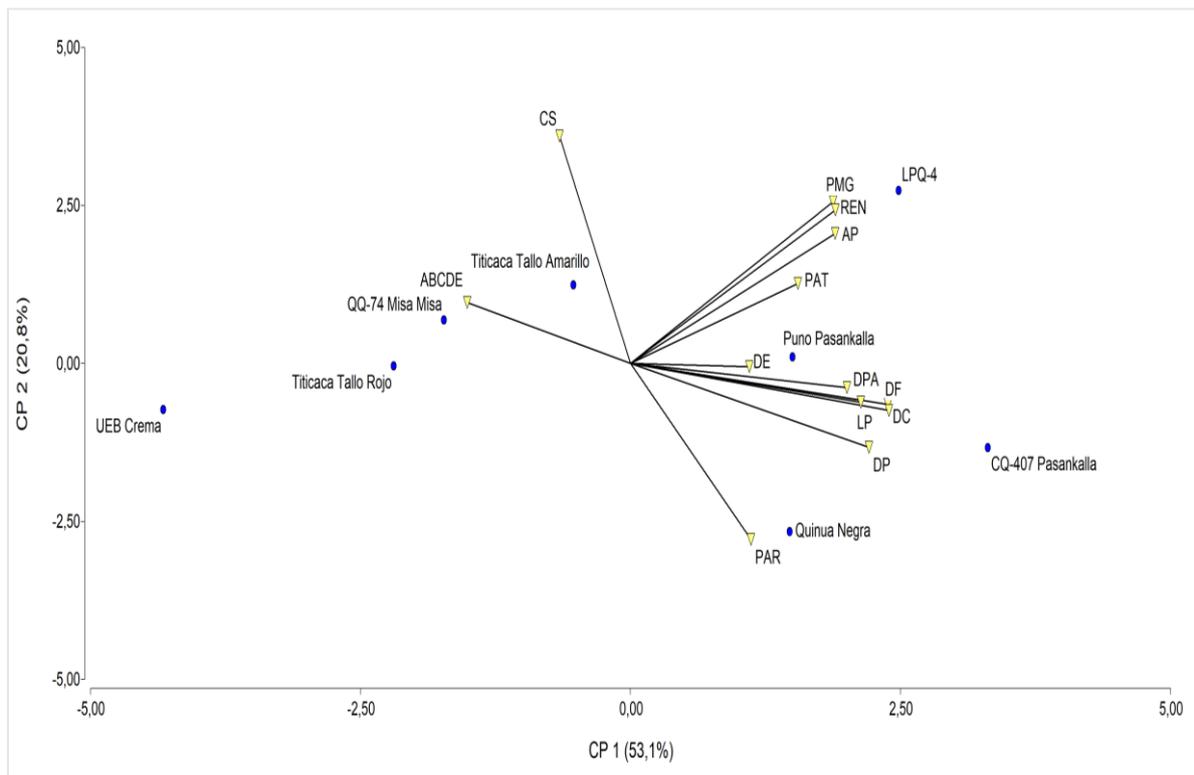


Figura 1. ACP de las variables en estudio de las accesiones de quinua

Los cultivares Titicaca tallo amarillo, Titicaca tallo amarillo y QQ-74 Misa Misa están asociadas a la variable ABCPE. En el caso del cultivar Puno Pasankalla fue asociado a las variables DF, DPA, PAT y DE. La Quinoa

Negra tiene una fuerte asociación con PAR. En cambio, la variedad LPQ-4 estuvo asociada a PMG, REN y AP. Sin embargo, la accesión UEB Crema no estaría asociada a los caracteres varietales estudiados diferenciándola de las variedades estudiadas (Figura 1).

De acuerdo a los resultados observados en la Tabla 2, las variables DF y DC se correlacionan positivamente con DF. Mientras que LP se correlaciona positivamente con DP, DF y DC. En el caso de la variable DPA estuvo correlacionada positivamente con DP, DC y LP. Además, se observó que PMG y REN están correlacionados positivamente con la AP. El CS se correlacionó negativamente con el PAR; de la misma forma el ABCPE se correlacionó negativamente con DP y DPA.

Tabla 2.

Matriz de correlación de las variables

| Variables | DE | DP | DF | DC | AP | LP | DPA | PAT | PAR | PMG | REN | CS | ABCPE |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|
| DE | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| DP | 0.25 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.56 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| DF | 0.53 | 0.91 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.18 | <0.0001 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| DC | 0.34 | 0.98 | 0.96 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.41 | <0.0001 | <0.0001 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| AP | 0.47 | 0.45 | 0.70 | 0.61 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.24 | 0.27 | 0.05 | 0.11 | | - | - | - | - | - | - | - | - |
| LP | 0.28 | 0.78 | 0.72 | 0.83 | 0.48 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.50 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.23 | | - | - | - | - | - | - | - |
| DPA | -0.06 | 0.76 | 0.67 | 0.77 | 0.44 | 0.84 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.89 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.28 | 0.01 | | - | - | - | - | - | - |
| PAT | 0.56 | 0.25 | 0.52 | 0.43 | 0.67 | 0.47 | 0.35 | 1 | - | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.14 | 0.55 | 0.18 | 0.29 | 0.07 | 0.24 | 0.40 | | - | - | - | - | - |
| PAR | 0.55 | 0.46 | 0.59 | 0.46 | 0.14 | 0.40 | 0.27 | 0.33 | 1 | - | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.15 | 0.25 | 0.13 | 0.25 | 0.74 | 0.33 | 0.52 | 0.43 | | - | - | - | - |
| PMG | 0.26 | 0.49 | 0.60 | 0.63 | 0.85 | 0.58 | 0.56 | 0.62 | -0.19 | 1 | - | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.54 | 0.22 | 0.12 | 0.10 | 0.01 | 0.13 | 0.15 | 0.10 | 0.64 | | - | - | - |
| REN | 0.38 | 0.46 | 0.67 | 0.62 | 0.97 | 0.47 | 0.48 | 0.64 | -0.02 | 0.93 | 1 | - | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.35 | 0.25 | 0.07 | 0.10 | <0.0001 | 0.24 | 0.23 | 0.09 | 0.96 | <0.0001 | | - | - |
| CS | -0.27 | -0.48 | -0.43 | -0.41 | 0.16 | -0.31 | -0.14 | -0.01 | -0.86 | 0.40 | 0.30 | 1 | - |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.52 | 0.23 | 0.29 | 0.31 | 0.70 | 0.46 | 0.73 | 0.98 | 0.01 | 0.32 | 0.46 | | - |
| ABCPE | 0.25 | -0.79 | -0.56 | -0.70 | -0.11 | -0.60 | -0.82 | 0.02 | -0.08 | -0.38 | -0.23 | 0.15 | 1 |
| <i>p</i> < 0.05 | 0.56 | 0.02 | 0.15 | 0.05 | 0.80 | 0.12 | 0.01 | 0.97 | 0.85 | 0.36 | 0.59 | 0.72 | |

Nota: ¹altamente significativo *p* < 0.001; significativo *p* < 0.05; no significativo *p* > 0.05.

3.2. Análisis de conglomerados

En este estudio se pudo determinar tres grupos de genotipos que comparten características similares (Figura 2). En el caso de UEB crema, Titicaca Tallo rojo, Titicaca tallo amarillo y QQ-74 Misa misa comparten una misma distancia, lo que indica que presentan semejanzas en DE, DP, DF, DC, AP, LP, DPA y PAT. El segundo grupo observado en el que se integran las accesiones de quinua negra, Puno Pasantata y LPQ-4. Por otro lado, la accesión CQ407 Pasantata es diferente de las demás accesiones cuyas medias para las variables indicadas anteriormente resultan ser mayores comparativamente.

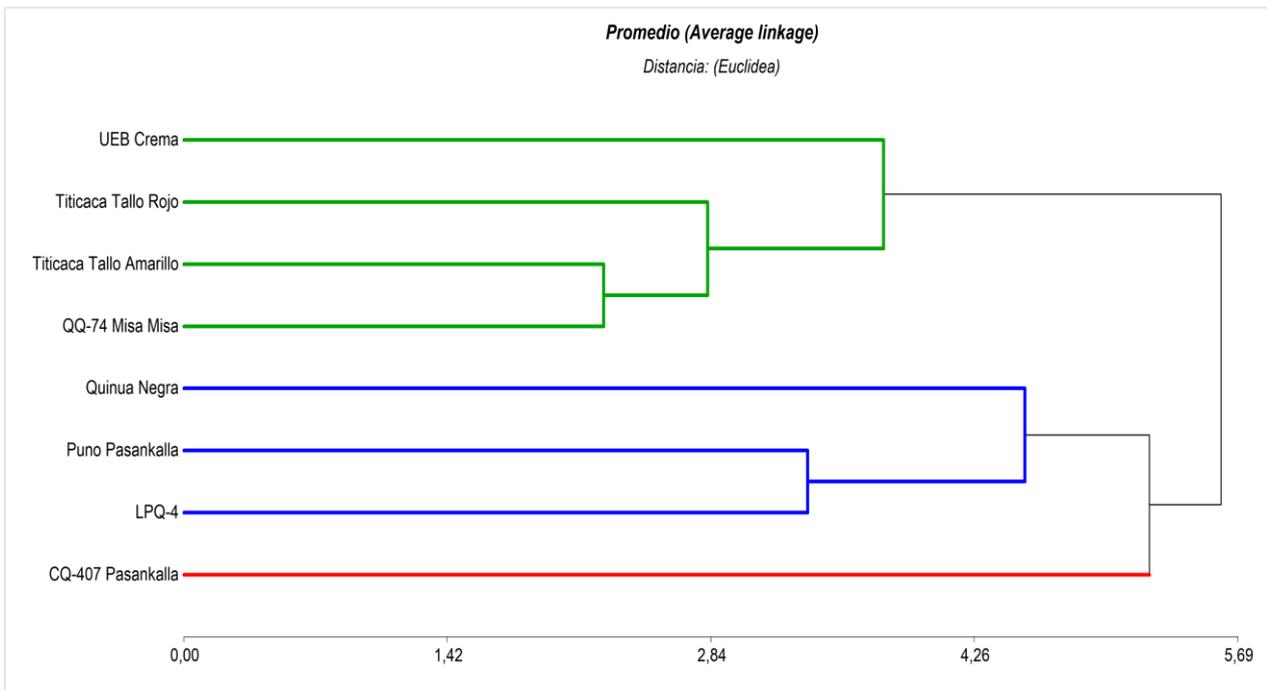


Figura 2. Análisis de conglomerados de las accesiones de quinua. Correlación cofenética= 0.709

4. DISCUSIÓN

En este estudio se pudo determinar que las variables DE, DP, DF, DC, AP, LP, DPA y PAT están fuertemente influenciadas por la morfología de las accesiones que interactúan con las condiciones ambientales. En este contexto, la quinua exhibe una adaptabilidad excepcional a diversos tipos de estrés ambiental, lo que la convierte en un cultivo valioso para las regiones que enfrentan desafíos como la sequía, la salinidad y las temperaturas extremas. Los estudios han demostrado que la quinua puede prosperar en diversas condiciones, incluidos suelos salinos, áreas propensas a la sequía y regiones con altas temperaturas (Ain et al., 2023; Maamri et al., 2022; Snowball et al., 2022).

En este estudio se observó que DP, DF y DC, además del REN son importantes para la determinación de variedades productivas, ya que la demanda de los agricultores es por cultivares precoces. La variable DP que determina la precocidad fue menor en las accesiones LPQ-4, Puno Pasankalla, Quinoa Negra y UEB Crema con 55; 56, 57 y 46 días respectivamente. Al relacionar con DC, esta característica genera mayor precocidad en UEB Crema comparada con las otras accesiones. Con este ciclo de cultivo corto la quinua tiene ventajas de adaptación a diferentes tipos de clima y permite que los agricultores puedan cosechar más rápido.

Investigaciones realizadas en países, como Argelia y Australia, han puesto de manifiesto la capacidad del cultivo para producir rendimientos satisfactorios incluso en condiciones adversas, lo que demuestra su potencial para mejorar el cultivo y la seguridad alimentaria (Morillo-Coronado et al., 2022; Munareto et al., 2021). Además, los análisis genéticos han revelado una variabilidad significativa en el germoplasma de quinua, lo que indica el potencial de mejora y adaptación a los diferentes entornos agroclimáticos. En general, la adaptabilidad de la quinua a los factores de estrés y su diversidad genética la convierten en un candidato prometedor para la agricultura sostenible en climas difíciles.

Las ocho accesiones de quinua en la zona de estudio fueron afectadas por la enfermedad mildiu causada por *Peronospora farinosa* (Fr.) Fr. durante el desarrollo fenológico del cultivo hasta la etapa de llenado del grano. La mayor ABCPE fue para las accesiones Titicaca Tallo Rojo, Titicaca Tallo Amarillo y UEB Crema, comparada con CQ-407 Pasankalla que fue menos afectada por la enfermedad. La alta severidad de esta enfermedad causa una defoliación total reduciendo el rendimiento hasta el 58% en cultivares susceptibles

(Danielsen et al., 1999), asociado a la alta humedad relativa, temperaturas frescas, lluvias continuas con una baja intensidad, la densidad de siembra y la nutrición del cultivo (Danielsen & Ames, 2000).

Adicionalmente en este estudio se observó que a mayor longitud de panoja menor diámetro de panoja. Este comportamiento fue observado con la accesión CQ-407 Pasankalla. Esta variable tiene relación con el rendimiento, las accesiones donde se observó rendimientos altos fueron LPQ-4, Puno Pasankalla y CQ-407 Pasankalla, lo que también se relaciona con su adaptación a la zona de cultivo. Los rendimientos obtenidos en este estudio son comparables con los de las variedades INIAP Ingapirca, INIAP Tunkahuan, e INIAP Pata de Venado reportadas en el Ecuador por Murillo et al. (2018).

La saponina es un metabolito secundario presente en hojas, tallos, panojas y el grano, que caracteriza a las variedades por un sabor amargo lo que incrementa el tiempo de procesamiento (Fiallos-Jurado et al., 2016). En el Ecuador son desaprovechadas por la industria, sin embargo, en otros países las saponinas son ampliamente utilizadas en la industria, por ejemplo, en jabones, fármacos anticancerígenos, hemolíticos, entre otros (Rojas et al., 2016).

La determinación de CS en este estudio mostró que LPQ-4, Titicaca Tallo Amarillo y QQ-74 Misa Misa presentaron mayor CS que la accesión Quinua Negra. Por lo tanto, la accesión Quinua Negra corresponde a quinua dulce, con un bajo contenido de saponina y el resto un contenido medio de saponina. En el Ecuador, el mercado prefiere quinua con un bajo porcentaje de saponina (quinuas dulces) como es el caso de las dos variedades comerciales vigentes como son INIAP Tunkahuan e INIAP Pata de Venado, mismas que contienen valores promedios menores a 0.06% (Murillo et al., 2018; Salazar et al., 2019).

La caracterización de las accesiones de quinua implica evaluar varios rasgos morfológicos y agronómicos para comprender la diversidad genética y las posibles estrategias de mejoramiento. Los estudios han puesto de manifiesto una variación significativa en las características fenotípicas entre el germoplasma de la quinua, incluido el contenido proteico, el rendimiento, la composición de aminoácidos, días a la cosecha y las características de las semillas (Craine et al., 2023).

El análisis genético mediante mapeo de loci de característica cuantitativa (QTL) de este cultivo ha detectado importantes rasgos agronómicos como días a la floración, la altura de la planta y el peso de mil granos, cruciales para los programas de fitomejoramiento (Maldonado-Taipe et al., 2022). Además, investigaciones realizadas sobre el impacto del fotoperíodo sobre la expresión génica en diferentes condiciones de duración del día, ha ayudado al desarrollo de cultivares de quinua adaptables y de alto rendimiento (Kaur et al., 2022). Estos hallazgos combinados ofrecen una comprensión de la diversidad de la quinua y su potencial para realizar esfuerzos de mejoramiento.

CONCLUSIONES

El ACP revela que ciertas variables como días a la emergencia de plántulas, días al panojamiento, días a la floración, entre otros, son cruciales para explicar la variación y clasificar las variedades de quinua. Esto sugiere que estas variables pueden ser determinantes en la caracterización del germoplasma al entorno de cultivo en la provincia de Bolívar.

En este estudio las accesiones LPQ-4, CQ-407 Pasankalla y Quinua Negra fueron identificadas como potencial germoplasma debido a sus rasgos agronómicos para el desarrollo de cultivares de quinua adaptables y de alto rendimiento, fundamentales para la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible.

Las accesiones LPQ-4, CQ-407 Pasankalla y Quinua Negra se consideran como potencial germoplasma para diversificar los sistemas de producción de la provincia de Bolívar, recomendándose que dichos materiales sean empleados en estudios en campos de agricultores, en los que también se considere el manejo de una adecuada nutrición mineral como factor de estudio.

AGRADECIMIENTO

Los investigadores agradecen a la Organización TUCAYTA del Cañar por las semillas de germoplasma evaluado. Asimismo, agradecen al Programa de Semillas de la UEB por todas las facilidades brindadas, y al Laboratorio de Fitopatología por su apoyo en el desarrollo de este estudio.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Silva-García, D.

Curación de datos: Román-Ramos, A. y Rodríguez-Maldonado, E.

Análisis formal: Román-Ramos, A. y Rodríguez-Maldonado, E.

Adquisición de fondos: Silva-García, D.

Investigación: Silva-García, D.

Metodología: Silva-García, D.

Administración del proyecto: Silva-García, D.

Recursos: Silva-García, D.

Software: Román-Ramos, A. y Rodríguez-Maldonado, E.

Supervisión: Silva-García, D.

Validación: Román-Ramos, A. y Rodríguez-Maldonado, E.

Visualización: Román-Ramos, A. y Rodríguez-Maldonado, E.

Redacción - borrador original: Román-Ramos, A. y Rodríguez-Maldonado, E.

Redacción - revisión y edición: Román-Ramos, A., Silva-García, D. y Rodríguez-Maldonado, E.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afzal, I., Haq, M. Z. U., Ahmed, S., Hirich, A., & Bazile, D. (2023). Challenges and perspectives for integrating quinoa into the agri-food system. *Plants*, *12*(19), 3361. <https://doi.org/10.3390/plants12193361>.
- Ain, Q. T., Siddique, K., Bawazeer, S., Ali, I., Mazhar, M., Rasool, R., Mubeen, B., Ullah, F., Unar, A., & Jafar, T. H. (2023). Adaptive mechanisms in quinoa for coping in stressful environments: an update. *PeerJ*, *11*, e14832. <https://doi.org/10.7717/peerj.14832>.
- Arguello-Hernández, P., Samaniego, I., Leguizamo, A., Bernalte-García, M. J., & Ayuso-Yuste, M. C. (2024). Nutritional and Functional Properties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Chimborazo Ecotype: Insights into Chemical Composition. *Agriculture*, *14*(3), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030396>.
- Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., ... & Padulosi, S. (2016). Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in plant science*, *7*, 850. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850>.
- Biodiversity International, FAO, PROINPA, INIAF, & FIDA. (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres [pdf]. Roma, Italia. 64 p. Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/0de7c382-30cd-4263-8a70-b5933bb83bb0/content>

- Craine, E. B., Davies, A., Packer, D., Miller, N. D., Schmöckel, S. M., Spalding, E. P., Tester, M., & Murphy, K. M. (2023). A comprehensive characterization of agronomic and end-use quality phenotypes across a quinoa world core collection. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1101547. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1101547>.
- Danielsen, S., & Ames, T. (2000). El Mildiu (*Peronospora farinosa*) de la Quinoa (*Chenopodium quinoa*) en la Zona Andina. In *Manual Práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno* (p. 32). International Potato Center.
- Danielsen, S., Jacobsen, S. E., Echegaray, J., & Ames, T. (1999). Impact of downy mildew on the yield of quinoa. *CIP Program Rep.*, 397–401.
- Danielsen, S., Mercado, V. H., Ames, T., & Munk, L. (2004). Seed transmission of downy mildew (*Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii*) in quinoa and effect of relative humidity on seedling infection. *Seed Science and Technology*, *32*(1), 91–98. <https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.1.10>.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2011). *InfoStat* (versión 24). Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar/>
- Fiallos-Jurado, J., Pollier, J., Moses, T., Arendt, P., Barriga-Medina, N., Morillo, E., Arahana, V., de Lourdes Torres, M., Goossens, A., & Leon-Reyes, A. (2016). Saponin determination, expression analysis and functional characterization of saponin biosynthetic genes in *Chenopodium quinoa* leaves. *Plant Science*, *250*, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.05.015>.
- Inguilán, J., & Pantoja, C. (2007). Evaluación y selección de 16 selecciones promisorias de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Córdoba, departamento de Nariño. [Tesis de Grado, Universidad de Nariño]. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto. Colombia.
- Kaur, H., Grewal, S. K., Gill, R. K., & Gill, P. S. (2022). Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes for nutritional quality and antioxidant potential. *Agricultural Research Journal*, *59*(3). <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2022.00072.2>
- Maamri, K., Zidane, O. D., Chaabena, A., Fiene, G., & Bazile, D. (2022). Adaptation of some quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.), grown in a saharan climate in Algeria. *Life*, *12*(11), 1854. <https://doi.org/10.3390/life12111854>.
- MAG. (2022). Boletín Situacional Quinoa p. 6. Recuperado de <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/granos/quinoa>
- Maldonado-Taípe, N., Barbier, F., Schmid, K., Jung, C., & Emrani, N. (2022). High-density mapping of quantitative trait loci controlling agronomically important traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Frontiers in Plant Science*, *13*, 916067. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.916067>.
- Morillo-Coronado, A. C., Manjarres-Hernández, E. H., & Pedreros-Benavides, M. C. (2022). Genetic diversity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Cundinamarca, Colombia. *Plant Genetic Resources*, *20*(3), 223–229. <https://doi.org/10.1017/S1479262123000060>.
- Mujica-Sanchez, A., Jacobsen, S., Izquierdo, J., & Marathe, J. (2001). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y del futuro. *Santiago: FAO*.
- Mujica, A. (2005). Descriptores para la caracterización del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). In *Manual para caracterización In situ de cultivos nativos: Conceptos y Procedimientos*. (pp. 90–105). Ministerio de Agricultura, INIA, Fondo Mundial del Medio Ambiente-FMAM, Cooperación Italiana y PNUD.
- Munareto, J. D., Nunes, U. R., Medeiros, S. P., Menegaes, J. F., Barbieri, G. F., & Tischler, A. L. (2021). Adaptação do Teste de Envelhecimento Acelerado em Sementes de Quinoa. *Ensaio e Ciência C*

- Biológicas Agrárias e Da Saúde*, 25(5), 564–569. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n5-esp.p564-569>.
- Murillo, A. R., Mazón, N. G., Vega, L. E., & Rodríguez, D. G. (2018). *Avances en mejoramiento genético de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en Ecuador*. In: Yáñez, Carlos., Racines, Marcelo., Sangoquiza, Carlos., Cuesta, Xavier, (Eds.). Primer Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 13 y 14 de junio de 2018. Quito, Ecuador. 46 p.
- Murillo, Á., Vega Jiménez, L. E., Rodríguez, D., & Yumisaca Jiménez, S. F. (2023). *Manual del Cultivo de Quinua (Chenopodium quinoa Willd) En Ecuador*. INIAP-EESC.
- Murphy, K. S., & Matanguihan, J. (2015). *Quinoa: Improvement and sustainable production*. John Wiley & Sons.
- Nowak, V., Du, J., & Charrondiére, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>.
- Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional composition and bioactive components in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) greens: A review. *Nutrients*, 14(3), 558. <https://doi.org/10.3390/nu14030558>.
- Rojas, W., Vargas Mena, A., & Pinto Porcel, M. (2016). La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(2), 114–124. <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/65>
- Salazar, J., de Lourdes Torres, M., Gutierrez, B., & Torres, A. F. (2019). Molecular characterization of Ecuadorian quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) diversity: implications for conservation and breeding. *Euphytica*, 215, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2371-z>
- Snowball, R., Dhammu, H. S., D’Antuono, M. F., Troidahl, D., Biggs, I., Thompson, C., Warmington, M., Pearce, A., & Sharma, D. L. (2022). Adaptation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Australian Environments. *Agronomy*, 12(9), 2026. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092026>.
- Stanschewski, C. S., Rey, E., Fiene, G., Craine, E. B., Wellman, G., Melino, V. J., SR Patiranage, D., Johansen, K., Schmöckel, S. M., & Bertero, D. (2021). Quinoa phenotyping methodologies: An international consensus. *Plants*, 10(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/plants10091759>.