



EVALUACIÓN DEL CICLO FENOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE GENOTIPOS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) †

[EVALUATION OF THE PHENOLOGICAL CYCLE AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF QUINOA GENOTYPES (*Chenopodium quinoa* Willd.)]

Miguel Adolfo Pizo-Ossa¹, Consuelo Montes-Rojas²,
Germán Andrés Aguilera-Arango¹, Yaneth Patricia Ramos-Villafañe¹,
Jennifer Lorena López-Hoyos³ and Yacenia Morillo-Coronado^{*4}

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- Agrosavia. Diagonal a la intersección de la Cra 36A con Calle 23, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Email: mpizo@unal.edu.co, gaguilera@agrosavia.co, yramos@agrosavia.co

²Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. Calle 5 N° 4-70 Popayán, Cauca, Colombia. Email: cmontesr@unicauca.edu.co

³Universidad del Valle. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Calle 13 No. 100-00 Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. Email: jennifer.lorena.lopez@correounivalle.edu.co

⁴Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Cra. 32 # 12 - 00. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Email: ymorilloc@unal.edu.co

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Background: Morphological characterization studies and determination of the phenological cycle of quinoa in Colombia are scarce, which are necessary for the identification of new planting materials. **Objective:** The aim of this study was to evaluate the phenological cycle of quinoa materials to identify early and late genotypes; study the morphological characteristics to identify discriminatory descriptors for the genetic improvement of this species in the Department of Cauca. **Methodology:** Fourteen families and three commercial controls (Blanca de Jericó, Aurora, and Tunkahuan) were evaluated in two locations in the department of Cauca under a completely randomized block design with four replications. Twelve phenological stages and 20 morphological descriptors were evaluated. The data were analyzed using an Analysis of Variance and Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$), in addition, a Multiple Correspondence Analysis was performed. The information was analyzed with the statistical package "R" version 4.3. **Results:** It was found that the Flia27 family was the earliest in Silvia and Totoró. The clustering analysis based on the 20 morphological descriptors grouped the 17 genotypes into five groups, differentiating the controls from the rest of the 14 evaluated families. The families were grouped to present an architecture with low stature and easy management, compact panicle form, and simple growth habit, in contrast to what was found in the controls which exhibited high stature, lax panicle, and branching up to the lower third. **Implications:** It is necessary to study with more homogeneous materials to determine which characteristics exactly are variable depending on the genotype and which show genotypic stability. **Conclusions:** Flia27 was the earliest, making it interesting to be included in a quinoa genetic improvement program. The most discriminatory descriptors were leaf shape, leaf margin, and panicle color. **Key words:** Chenopodiaceae; germplasm; genetic improvement; precocity; genetic variability.

† Submitted January 12, 2024 – Accepted April 19, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5397>



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

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Miguel Adolfo Pizo-Ossa: <http://orcid.org/0000-0002-7754-1310>; Consuelo Montes-Rojas: <http://orcid.org/0000-0002-8117-9465>; Germán Andrés Aguilera-Arango: <http://orcid.org/0000-0002-3942-4658>; Yaneth Patricia Ramos-Villafañe: <http://orcid.org/0000-0003-4493-3390>; Jennifer Lorena López-Hoyos: <http://orcid.org/0000-0002-3921-8897>; Yacenia Morillo-Coronado: <http://orcid.org/0000-0003-1974-3464>

RESUMEN

Antecedentes: Los estudios de caracterización morfológica y determinación del ciclo fenológico de quinua en Colombia son escasos, los cuales son necesarios para la identificación de nuevos materiales de siembra. **Objetivo:** El objetivo de este estudio fue evaluar el ciclo fenológico de materiales de quinua para identificar genotipos precoces y tardíos; estudiar las características morfológicas para identificar descriptores discriminatorios para el mejoramiento genético de esta especie en el Departamento del Cauca. **Metodología:** Se evaluaron 14 familias y tres testigos comerciales (Blanca de Jericó, Aurora y Tunkahuan), en dos localidades del departamento del Cauca bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron 12 etapas fenológicas y 20 descriptores morfológicos. Los datos fueron analizados mediante un Análisis de Varianza y Prueba de promedios Duncan ($p < 0.05$), además, se realizó un Análisis de Correspondencia Múltiple. La información se analizó con el paquete estadístico “R” versión 4.3. **Resultados:** Se encontró que la familia Flia27 fue la más precoz en Silvia y Totoró. El análisis de agrupamiento basado en los 20 descriptores morfológicos agrupó los 17 genotipos en cinco grupos, diferenciándose los testigos del resto de las 14 familias evaluadas. Las familias se agruparon por presentar una arquitectura con porte bajo y fácil manejo, forma de la panoja compacta y hábito de crecimiento simple, en contraste con lo encontrado en los testigos los cuales exhibieron porte alto, panoja laxa y ramificación hasta el tercio inferior. **Implicaciones:** Se requiere trabajar con materiales más homogéneos para determinar qué características exactamente son variables en función del genotipo y cuáles muestran estabilidad genotípica. **Conclusiones:** La Flia27 fue la más precoz, lo que la hace interesante para ser incluida en un programa de mejoramiento genético de quinua. Los descriptores más discriminatorios fueron forma de hoja, margen de la hoja y color de panoja. **Palabras claves:** Chenopodiaceae; germoplasma; mejoramiento genético; precocidad; variabilidad genética.

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta herbácea, dicotiledónea perteneciente a la familia Chenopodiaceae, que es cultivada desde el nivel del mar hasta los 400 m.s.n.m., con un amplio rango de adaptación ecológica (Hong *et al.*, 2017). La quinua tiene su centro de origen en la región andina de América del Sur y presenta una alta distribución en formas, genotipos y parientes silvestres en las regiones aledañas de Perú y Bolivia, sin embargo, la mayor diversidad se encuentra en el área entre Sicuani (Perú) y Potosí (Bolivia) (Zurita *et al.*, 2014). La quinua, es una especie que muestra una amplia adaptabilidad al medio ambiente, lo que ha permitido cultivarla en condiciones extremas de clima, suelos y, deficiencia hídrica, (Hinojosa *et al.*, 2018).

En los últimos años, esta especie ha ganado la atención internacional como fuente de alimento altamente nutritivo. El cultivo produce semillas sin gluten, con alto contenido proteico, excelente equilibrio de aminoácidos esenciales y una composición óptima de fibras, lípidos, vitaminas y minerales (Navruz-Varli y Sanlier, 2016; Jaikishun *et al.*, 2019). Además de su excelente valor nutricional, se ha descubierto que la quinua contiene un alto contenido de fitoquímicos con beneficios positivos para la salud, incluyendo fitoesteroides, fitoecdisteroides, compuestos fenólicos y péptidos bioactivos, que pueden contribuir a la salud metabólica, cardiovascular y gastrointestinal (Graf *et al.*, 2015).

La FAO desde el año 2013 ha impulsado el mejoramiento de la producción, transformación agroindustrial y comercialización, aumentando considerablemente el consumo de la quinua y sus derivados, incrementando el área sembrada, la identificación y selección de genotipos con una mejor respuesta en su adaptabilidad climática y por lo tanto, un aumento en los rendimientos obtenidos por hectárea (Bazile *et al.*, 2016; Zurita *et al.*, 2014; Adolf *et al.*, 2013). Por lo tanto, se hace necesario considerar la influencia del ambiente, el manejo agronómico sobre las condiciones nutricionales de los granos y el rendimiento de los cultivares (Abdelaleem *et al.*, 2021).

En Colombia la quinua se cultiva principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Cauca y Nariño. Sin embargo, el país no cuenta con semillas certificadas o variedades comerciales, lo que ha dado lugar a una mezcla de variedades en campo (Morillo *et al.*, 2020). En el departamento del Cauca, la quinua se cultiva en 10 municipios La Vega, Jambaló, Bolívar, Toribio, Sotaró, Almaguer, Silvia, Caldono, Totoró y Puracé, integrados por 95 núcleos productivos y 30 asociaciones, siendo un cultivo de mucha aceptación por parte de los productores de la región. Sin embargo, a pesar de los importantes esfuerzos y recursos invertidos en el sector quinuero, se evidencia que en el departamento del Cauca existe escasa investigación orientada a la caracterización de genotipos cultivados y material de siembra certificado, lo cual limita la productividad y competitividad del cultivo (Montes *et al.*, 2020). De ahí que las actividades de caracterización, conservación y uso de este importante recurso

genético vegetal sean de gran importancia estratégica para la región (Antognoni *et al.*, 2021).

Es importante mencionar que, el municipio de Bolívar tradicionalmente genera los mayores volúmenes de producción, con la integración de 477 productores se obtienen alrededor de 800 toneladas de quinua, seguido de Silvia, donde anteriormente los cultivos hace tres años se encontraban en Guambía, sin embargo, actualmente se están produciendo en comunidades Nasa, Páez y la zona campesina (Montes *et al.*, 2018). En este contexto, esta especie es una alternativa valiosa para mejorar la desnutrición en la región del Cauca, donde este departamento acogió la política nacional de seguridad alimentaria y nutricional, siendo esta especie el eje principal en esta política pública, donde se espera una mejora en los ingresos económicos y calidad de vida de las familias campesinas dedicadas al sector quinuero (Morillo *et al.*, 2020).

Es importante conocer la diversidad y variabilidad genética del cultivo de la quinua, que es fundamental para el mejoramiento genético de especies vegetales de interés agrícola, donde la identificación de rasgos agronómicos, morfológicos, moleculares y bioquímicos permite la discriminación de genotipos y establecer usos potenciales, determinar colecciones de núcleo e intercambiar información y promover la utilización en programas de conservación y mejoramiento genético (Bedoya *et al.*, 2018).

La quinua posee una gran variación morfológica; por lo tanto, se requiere realizar investigación para conocer el potencial de genotipos exóticos y su uso en el mejoramiento genético (Zhang *et al.*, 2017). Los estudios de diversidad genética pueden proporcionar una evaluación del estado de conservación de este valioso recurso agrícola para permitir la identificación de nuevas fuentes de variación alélica que pueden llegar a ser aprovechadas para aumentar la productividad del cultivo (Bazile *et al.*, 2016).

En cuanto a los estudios de caracterización morfológica y determinación de ciclo fenológico de genotipos de quinua en Colombia, se encuentran los realizados por Bedoya *et al.* (2018) quienes estudiaron la morfología y fases vegetativas y reproductivas en variedades de quinua. Morillo *et al.* (2020) evaluaron 19 materiales de quinua en el departamento de Boyacá con 27 descriptores morfológicos. Montes *et al.* (2018) describieron el ciclo fenológico de cuatro genotipos de quinua en la localidad de Puracé ubicada en el departamento del Cauca. Manjarrés *et al.* (2021) evaluaron el rendimiento y aspectos fenológicos de 30

materiales genéticos de quinua en Boyacá. Los resultados de estos estudios han demostrado que los materiales de quinua evaluados presentan una gran variabilidad genética de caracteres cualitativos y cuantitativos, que se pueden utilizar para la selección de materiales.

El objetivo de este estudio fue evaluar el ciclo fenológico de materiales de quinua para identificar genotipos precoces y tardíos; estudiar las características morfológicas para identificar descriptores discriminitorios para el mejoramiento genético de esta especie en el Departamento del Cauca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se llevó a cabo en dos localidades del departamento del Cauca, Colombia. La primera localidad se ubica en la vereda San Fernando, en el municipio de Silvia, con coordenadas de 2°37'45.06" N y 76°20'29.75" W a una altitud de 2675 m.s.n.m. Los valores medios anuales de temperatura, precipitación y humedad relativa son 12 °C, 1800 mm y 80 % respectivamente. La segunda localidad se ubica en la vereda la Palmas, en el municipio de Totoró, con coordenadas de 2°33'46.37" N y 76°34.28.30" W a una altitud de 2285,5 m.s.n.m. Los valores medios anuales de temperatura, precipitación y humedad relativa son 9 °C, 1300 mm y 85% respectivamente (Meneses y Pérez *et al.*, 2023).

Material vegetal

Se evaluaron 14 familias de quinua dulce identificadas como: Flia23, Flia25, Flia27, Flia34, Flia37, Flia38, Flia56, Flia60, Flia63, Flia86, Flia103, Flia105, Flia110 y FliaSJ, las cuales se originaron del cruzamiento entre los cultivares Aurora x Tunkahuan. Las familias de hermanos completos de quinua dulce utilizadas en este trabajo fueron puestas a disposición por el Ingeniero Benjamín Sañudo Sotelo, docente de la Universidad de Nariño en Colombia. Además, se incluyeron como testigos comerciales a los ecotipos Blanca de Jericó, Tunkahuan y Aurora. El símbolo "Flia" fue utilizado para identificar a cada familia evaluada.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. El lote experimental tuvo un área total de 261 m². Cada parcela estuvo conformada por un surco de 3.0 m de longitud con distancia entre surcos de 0.7 m y 0.10 m entre

plantas, para un total de 30 plantas por surco. El manejo agronómico del ensayo fue hecho de forma convencional. La cosecha se realizó manualmente cuando las plantas alcanzaron el estado de madurez fisiológica.

Caracterización del ciclo fenológico

Para la evaluación de las etapas fenológicas en las 17 Flías de quinua, se siguió la metodología empleada por Bioversity International (2013). En el cultivo de quinua se presentan dos etapas fenológicas bien diferenciadas, la etapa vegetativa que cuenta con seis fases fenológicas y la reproductiva con siete. Estos resultados concuerdan con Montes *et al.* (2018) quienes reportan que la quinua presenta 12 fases fenológicas, sin tener en cuenta la germinación. Las fases que se identificaron se describen a continuación: etapa vegetativa (Figura 1).

Germinación de la semilla (V0): se observa la emisión de la radícula, esta presentó un periodo de 24 h después de la siembra y humedecer la semilla.

Emergencia (V1): cuando la plántula rompe la superficie del suelo.

Aparición de hojas verdaderas (V2): cuando fuera de las hojas cotiledonales, aparece la primera hoja verdadera extendida.

Cuatro hojas verdaderas (V3): cuando se observan dos pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas cotiledonales aún se conservan verdes.

Seis hojas verdaderas (V4): cuando se observan tres pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas primarias se tornan de color amarillento por senescencia.

Ramificación (V5): cuando se observan cuatro pares de hojas verdaderas extendidas con presencia de hojas axilares hasta el tercer nudo, las hojas primarias se han caído y dejado cicatriz en el tallo, también se nota presencia de inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja.



Figura 1. Fases vegetativas en genotipos de quinua. **a)** Germinación de las semillas (V0). **b)** Emergencia (V1). **c)** Aparición de hojas verdaderas (V2). **d)** Cuatro hojas verdaderas (V3). **e)** Seis hojas verdaderas (V4). **f)** Ramificación (V5). **Fuente:** Elaboración propia.

La etapa reproductiva consta de siete fases (Figura 2), las cuales se describen así:

Inicio de formación de panoja (R6): el ápice de la planta la emergencia de la inflorescencia es visible y se observa alrededor aglomeración de hojas pequeñas, las cuales van cubriendo la panoja.



Figura 2. Fases reproductivas en genotipos de quinua. **a)** Inicio de formación de panoja (R6). **b)** Formación de panoja (R7). **c)** Inicio de floración (R8). **d)** Floración (R9). **e)** Grano lechoso (R10). **f)** Grano pastoso (R11). **g)** Madurez fisiológica y madurez de cosecha (R12). **Fuente:** Elaboración propia.

Formación de panoja (R7): se observa claramente la inflorescencia por encima de las hojas, dejando ver claramente los glomérulos que la conforman; además se puede observar en los glomérulos de la base los botones florales individuales.

Inicio de floración (R8): la flor hermafrodita apical se abre mostrando los estambres separados, se puede notar en los glomérulos las anteras protegidas por el perigonio de un color verde limón.

Floración (R9): cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas y la planta comienza a eliminar las hojas inferiores.

Grano lechoso (R10): los frutos que se encuentran en los glomérulos de la panoja, al ser presionados explotan y dejan salir un líquido lechoso.

Grano pastoso (R11): los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco.

Madurez fisiológica y madurez de cosecha (R12): al presionar el grano formado con las uñas, presenta resistencia a la penetración, el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16%, en esta etapa inicia el amarillamiento completo de la planta y hay gran defoliación.

Cada etapa fenológica se registró cuando mínimo 50% de las plantas dentro de cada genotipo presentaba las características de la fase.

Tratamiento de pregerminación

Como tratamiento previo de pregerminación, la semilla se colocó en vasos plásticos, los cuales fueron llenados con agua y se dejaron en remojo por un periodo de 12 horas. Al cabo de este tiempo las semillas se pusieron a secar en un toldillo para retirar la humedad y finalmente se sembraron en las bandejas de siembra.

Caracterización morfológica

Se evaluaron un total de 16 variables cualitativas (Tabla 1) y cuatro cuantitativas a saber: longitud del peciolo (cm) (LP), longitud máxima de la hoja (cm) (LH), ancho máximo de la hoja (cm) (AH) y área foliar (cm²) (AF), utilizando los descriptores de quinua y sus parientes silvestres (Bioversity International, 2013).

Análisis estadístico

Se realizó análisis descriptivo, se determinaron estadísticos de tendencia central y dispersión (media y coeficiente de variación). Para el análisis de varianza combinado (ANOVA), el valor p fue considerado significativo a un nivel de probabilidad ($p < 0.05$). Se realizó la prueba de promedios de Duncan ($p \leq 0.05$) para determinar cuáles materiales se diferenciaban estadísticamente en Silvia y Totoró. Es importante aclarar que, esta prueba se realizó en tres etapas fenológicas fundamentales de acuerdo con los programas de mejoramiento genético en quinua: floración, madurez fisiológica y madurez de cosecha (Salcedo *et al.*, 2022). Para la caracterización morfológica se utilizó el Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM). Para el procesamiento de la información se utilizó el programa estadístico “R” versión 4.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología de genotipos de quinua

Transcurrido las 24 horas después de la siembra se pudo observar un porcentaje de emergencia del 100%, lo cual se atribuye al tratamiento de pregerminación de la semilla.

En el ANOVA no se evidenciaron diferencias ($p > 0.05$) para las etapas vegetativas. Mientras, en el análisis de varianza combinado de las variables de las etapas reproductivas, como inicio de floración, floración, grano lechoso, grano pastoso, madurez fisiológica y madurez de cosecha, se presentaron diferencias estadísticamente significativas para la localidad, localidad x repetición, genotipo y genotipo x localidad (Tabla 2).

Los resultados permitieron identificar que, en la localidad de Silvia para la etapa de floración, 14 familias y el testigo Tunkahuan presentaron un rango entre 102.21 a 103.71 días, en tanto que, los testigos Blanca de Jericó y Aurora con 125.96 días, fueron los genotipos más tardíos. Es importante resaltar que las 14 familias fueron más precoces para esta característica. Para la etapa de madurez fisiológica, se observó que la Flia27 fue la más precoz, en tanto que, los testigos Aurora y Blanca de Jericó fueron los más tardíos. El material más precoz fue la Flia27 y los más tardíos fueron los testigos Aurora y Blanca de Jericó. Se pudo observar un coeficiente de variación para todas las variables estudiadas bajo (1.16 - 2.34%) para el final del ciclo, ratificando que los valores para los genotipos fueron homogéneos en todas las repeticiones (Tabla 3).

Tabla 1. Descriptores cualitativos evaluados en materiales de quinua.

Variables Cualitativas	Descriptor	Sigla	Modalidades
1	Forma de la hoja	FDH	1 romboidal; 2 triangular
2	Margen de la hoja	MDH	1 entero; 2 Dentado; 3 Aserrado
3	Color del peciolo	CP	1 verde; 2 Verde – Rojo (estriado/variegado); 3 rojo
4	Color lámina foliar	CL	1 verde; 2 Verde – Rojo (estriado/variegado); 3 rojo
5	Color panoja en floración	CPF	1 verde; 2 Púrpura; 3 Rojo; 4 Mixtura (púrpura y rojo)
6	Color tallo principal	CT	1 Blanco; 2 Púrpura; 3 Rojo; 4 Rosado; 5 Amarillo; 6 anaranjado; 7 Marrón; 8 Gris; 9 Negro; 10 Verde; 99 otro (especificar en el descriptor)
7	Forma tallo principal	FTP	Cilíndrico; anguloso
8	Presencia de ramificación	PR	0 ausente; 1 Presente
9	Color de panoja en madurez fisiológica	CPM	1 Blanco; 2 Púrpura; 3 Rojo; 4 Rosado; 5 Amarillo; 6 anaranjado; 7 Marrón; 8 Gris; 9 Negro; 10 Rojo y blanco; 11 Rojo y rosado; 12 Rojo y amarillo; 13 Verde; 14 Rojo y verde; 99 Otros (especificar en el descriptor).
10	Color panoja en cosecha	CPC	Glomerulada (glomérulos están insertos en los ejes glomerulares y presentan una forma globosa); 2 Intermedia (apariciencia de ambas formas); 3 Amarantiforme (glomérulos están insertados directamente en el eje secundario y presentan una forma alargada)
11	Forma panoja	FP	
12	Densidad de la panoja	DP	1 laxa; 2 Intermedia; 3 Compacta
13	Hábito de crecimiento	HC	1 Simple; 2 Ramificado hasta el tercio inferior; 3 Ramificado hasta el segundo tercio; 4 Ramificado con panoja principal no definida
14	Forma de grano	FG	1 lenticular; 2 Cilíndrico; 3 Elipsoidal; 4 Cónico
15	Grado de dehiscencia	GD	1 ligera; 2 Regular; 3 Fuerte
16	Color de grano	CG	1 transparente; 2 Blanco; 3 Crema; 4 Café claro; 5 Café; 6 Café oscuro; 7 Café rojizo; 8 Negro; 99 Otro (especificar en el descriptor)

Fuente: International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA. 2013.

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables reproductivas del ciclo fenológico en 17 genotipos de quinua.

Variables	Fuente de variación	SC	CM	F	p-valor
Inicio de floración	Localidad	47782.28	47782.28	3610.36	<0.0001***
	Localidad*Repetición	79.41	13.23	4.15	0.0009***
	Genotipo	1810.56	113.16	35.51	<0.0001***
	Genotipo*Localidad	2975.3	185.96	58.36	<0.0001***
	Error	305.89	3.19		
Floración	Localidad	38334.56	38334.56	2559	<0.0001***
	Localidad*Repetición	89.88	14.98	3.87	0.0017***
	Genotipo	1438.78	89.92	23.23	<0.0001***
	Genotipo*Localidad	2734.92	170.93	44.16	<0.0001***
	Error	371.62	3.87		
Grano lechoso	Localidad	30283.06	30283.06	1318.9	<0.0001***
	Localidad*Repetición	137.76	22.96	5.68	<0.0001***
	Genotipo	2905.46	181.59	44.9	<0.0001***
	Genotipo*Localidad	786.72	49.17	12.16	<0.0001***
	Error	388.24	4.04		
Grano pastoso	Localidad	330.72	33072	1931.6	<0.0001***
	Localidad*Repetición	102.73	17.12	10.58	<0.0001***
	Genotipo	4598.13	287.38	177.52	<0.0001***
	Genotipo*Localidad	935.02	58.44	36.1	<0.0001***
	Error	155.42	1.62		
Madurez fisiológica	Localidad	35214.57	35214.57	7574.32	<0.0001***

Variables	Fuente de variación	SC	CM	F	p-valor
Madurez de cosecha	Localidad*Repetición	27.9	4.65	2.88	0.0127***
	Genotipo	30032.66	1877.04	1162.47	<0.0001***
	Genotipo*Localidad	555.87	34.74	21.52	<0.0001***
	Error	155.01	1.61		
	Localidad	54891.26	54891.26	881.85	<0.0001***
	Localidad*Repetición	373.47	62.25	2.94	0.0111***
	Genotipo	25943.59	1621.47	76.67	<0.0001***
	Genotipo*Localidad	978.06	61.13	2.89	0.0007***
	Error	2030.34	21.15		

****, p<0.001; ***, p<0.01; **, p<0.05; 0.1;1: Niveles de significancia altamente significativo y significativo respectivamente, respectivamente, ns: No significativo. **Fuente:** Elaboración propia.

Para la localidad de Totoró, se identificó que en la etapa de floración los testigos comerciales Aurora, Tunkahuan, Blanca de Jericó y las familias Flia63, Flia38 y Flia23 fueron los más precoces, seguidos de las familias Flia103, Flia56, Flia60 y FliaSJ, mientras que, las familias Flia27, Flia34, Flia37, Flia105, Flia110, Flia25 y Flia86 presentaron los ciclos más tardíos, en esta variable se destacaron los testigos comerciales. En la etapa de madurez fisiológica, los testigos comerciales Aurora, Tunkahuan, Blanca de Jericó fueron los más tardíos, entre tanto, las 14 familias son similares ($P>0.05$) y son consideradas las más precoces. Finalmente, en la etapa de madurez de cosecha, Blanca de Jericó y Aurora presentaron el mayor tiempo presentando el ciclo más tardío, seguidos de Tunkahuan y Flia56, mientras que, las 13 familias restantes son similares ($P>0.05$) arrojando el ciclo más corto y son consideradas genotipos precoces. Se pudo evidenciar un coeficiente de variación para todas las variables estudiadas bajo (1.23 - 2.30%),

resultado que ratifica valores uniformes para todas las repeticiones (Tabla 4).

García y Plazas (2018) clasifican como precoces los genotipos que su ciclo fenológico está en un rango entre 145 a 160 días, semi-tardíos los que se encuentren en el rango de 160 a 175 días y tardíos las que se ubican en el rango de 175 a 210 días, escala que permitió clasificar a las Familia 27 y 23 en la localidad de Silvia como precoces por estar en el rango entre 138.58 a 152.54 días. Mientras que, los testigos comerciales Aurora y Blanca de Jericó son clasificados como tardíos porque su ciclo fue de 189.54 días. En Totoró las Flia27 y Flia56, estuvieron en un rango entre 102.4 y 117.51 días respectivamente, clasificándose como muy precoces, mientras que los testigos Aurora y Blanca de Jericó estuvieron en el rango de 146.55 y 147.42 días, respectivamente, clasificándose como precoces.

Tabla 3. Prueba de promedios de Duncan ($p\geq 0.05$) en floración, madurez fisiológica y madurez de cosecha para los 17 materiales de quinua en Silvia.

Genotipo	Floración (días)	Madurez fisiológica (días)	Madurez cosecha (días)
Flia25	102.21 a	131.58 d	152.54 f
Flia27	102.21 a	125.96 a	138.58 a
Flia63	102.21 a	127.36 ab	142.07 ab
Flia37	102.21 a	129.49 bcd	148.55 cdef
Flia56	102.21 a	130.17 bcd	149.05 def
Flia86	102.21 a	128.07 abc	143.06 abc
Flia103	102.21 a	130.18 bcd	150.54 ef
Flia110	102.21 a	130.18 bcd	150.54 ef
Tunkahuan	102.21 a	130.88 cd	152.54 f
Flia105	102.21 a	130.17 bcd	148.55 cdef
Flia60	102.96 a	130.18 bcd	150.54 ef
Flia38	102.96 a	129.48 bcd	143.56 abcd
FliaSJ	102.96 a	129.48 bcd	143.06 abc
Flia34	102.96 a	131.58 d	152.54 f
Flia23	103.71 a	129.49 bcd	145.06 bcde
Blanca de Jericó	125.96 b	179.54 d	189.54 g
Aurora	125.96 b	179.54 d	189.54 g
C.V (%)	1.49	1.16	2.34

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Prueba de promedios para las etapas de floración, madurez fisiológica y madurez de cosecha en 17 genotipos de quinua en la localidad de Totoró.

Genotipo	Floración (días)	Madurez fisiológica (días)	Madurez cosecha (días)
Flia25	67.54 a	97.54 a	106.54 a
Flia27	67.54 a	97.04 a	102.04 a
Flia63	69.04 ab	97.54 a	103.54 a
Flia37	70.54 abc	97.54 a	105.04 a
Flia56	70.54 abc	97.54 a	117.51 b
Flia86	70.54 acb	97.54 a	106.54 a
Flia103	72.04 bc	97.54 a	106.54 a
Flia110	72.04 bc	97.54 a	105.04 a
Tunkahuan	72.04 bc	111.3 b	126.78 c
Flia105	72.04 bc	97.54 a	108.04 a
Flia60	73.54 c	97.54 a	106.54 a
Flia38	73.54 c	97.54 a	105.04 a
FliaSJ	73.54 c	97.54 a	105.04 a
Flia34	73.54 c	97.54 a	105.04 a
Flia23	73.54 c	97.54 a	103.54 a
Blanca de Jericó	73.54 c	140.42 d	147.42 d
Aurora	73.54 c	139.42 c	146.55 d
C.V (%)	1.49	1.23	2.30

Fuente: Elaboración propia.

La duración del ciclo fenológico se relaciona directamente con las condiciones climáticas como la temperatura y precipitación (Montes *et al.*, 2018). En este contexto, la temperatura mínima promedio que se presentó en Silvia durante el ciclo del cultivo osciló entre 6 y 8 °C, la máxima reportada estuvo entre 10 y 15 °C y una temperatura promedio de 8 y 11.5 °C con precipitaciones de 650 mm, mientras, para Totoró

la temperatura mínima fue de 8 a 9 °C, la máxima reportada 13 y 15 °C y una temperatura promedio de 10.5 °C y 12 °C con precipitaciones de 410 mm (Figura 3). Estos valores se acercan a lo permitido por el cultivo, que varían entre 240 y 550 mm para satisfacer la demanda hídrica y se encuentran en el rango de adaptación del cultivo (Vilca y Vidal, 2015).

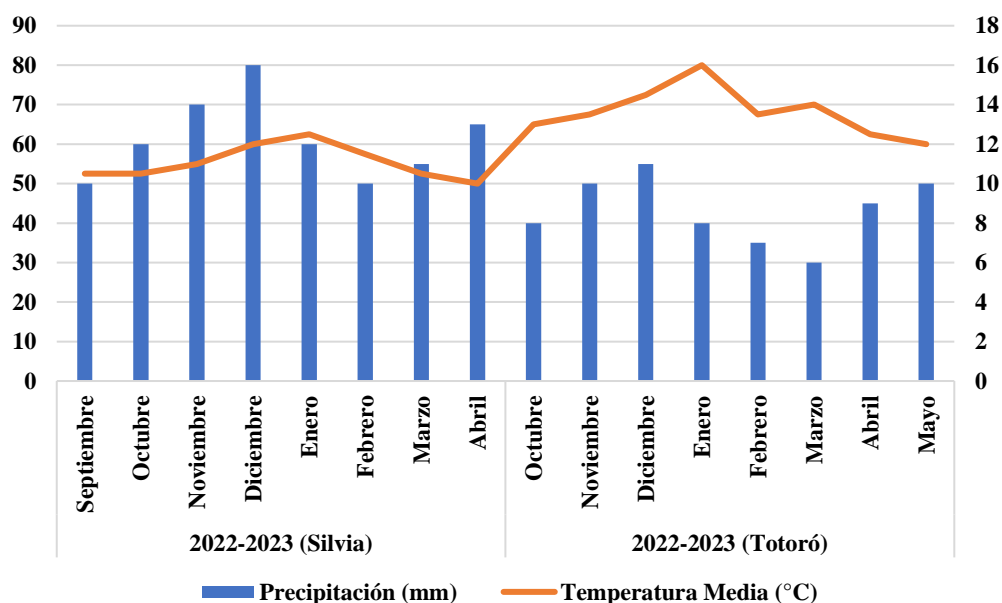


Figura 3. Datos climáticos de temperatura y precipitación durante los periodos de evaluación del ciclo del cultivo de los genotipos de quinua en las localidades de Silvia y Totoró (Cauca), Colombia. **Fuente:** Elaboración propia.

Debido al fenómeno de la niña, durante el estudio se presentó plasticidad en el desarrollo de los genotipos y se observaron ritmos fluctuantes en el crecimiento, provocado por las altas presiones osmóticas (Urdanegui *et al.*, 2021). Además, se observó germinación de las semillas en la propia panoja por exceso de lluvia y se tuvo que cosechar y poner a secar en el invernadero para mantener las características físicas y fisiológicas del grano. López-Márquez *et al.* (2020), indican que los días para llegar a floración en quinua son sensibles a las condiciones climáticas adversas, donde la quinua resiste temperatura de hasta -2°C, siendo este un factor limitante en la producción y podría afectar los rendimientos al generar tiempos variables de cosecha en el cultivo. Estas temperaturas no se evidenciaron en el estudio para las dos localidades y no generó ninguna reducción en la producción final.

Adicionalmente, Mujica *et al.* (2023) y Manjarrés *et al.* (2021), recalcan la importancia de realizar estudios de fenología en quinua como una herramienta valiosa para identificar genotipos precoces y obtener cosechas rápidas y planificar mayor número de siembras al año, lo que podría generar una ventaja económica para los productores de quinua, como es el caso de Silvia y Totoró, donde las Flia27 y Flia23 se destacaron por ser las más precoces. Además, se pudo evidenciar que las familias fueron superiores en ambas localidades para esta característica respecto a los testigos, principalmente Aurora y Blanca de Jericó, los cuales fueron los más tardíos, en Silvia aproximadamente 6.3 meses y en Totoró 4.9 meses aproximadamente.

Manjarrés *et al.* (2021) indican que el amplio rango que se observa en la madurez fisiológica y de

cosecha se debe principalmente a la diversidad genética y por tal motivo los genotipos difieren en la duración de estas etapas, además de ser uno de los caracteres más importantes para la selección, debido a que esta determina la precocidad del genotipo y la rapidez de cosecha.

Caracterización morfológica de genotipos de quinua

En el análisis de varianza para las variables longitud del peciolo, longitud máxima de la hoja, ancho máximo de la hoja y área foliar, permitió identificar diferencias entre repeticiones y entre genotipos ($P < 0.05$) (Tabla 5).

Al aplicar la prueba de promedios de Duncan, se logró identificar que la Flia27 presentó la menor longitud de peciolo con 4.02 cm, seguido de Flia37 y Flia105 con 4.23 y 4.35 cm respectivamente, en tanto que, Aurora es el genotipo con la mayor longitud del peciolo alcanzando 6.08 cm. Resultados inferiores a los reportados por Domínguez (2014), en estudios de caracterización agromorfológica de híbridos de quinua F4 originados de cruzamientos simples registrando promedios de 5.54, 7.61, 7.14, 7.41 y 6.78 cm obtenidos en los cruzamientos de Huariponcho x Kancolla. En la variable longitud máxima de la hoja se pudo evidenciar que Flia86 presentó el menor valor junto a las Flia27, Blanca de Jericó y Flia37 con 6.99, 7.01 y 7.36 cm respectivamente, seguido de las Flia103 y Tunkahuan con 7.42 y 7.52 cm, mientras que Aurora ocupa el primer lugar con el máximo valor de 8.22 cm, valores similares a los obtenidos por Domínguez (2014), donde se registraron valores de 6.83, 7.55, 7.66, 8.19 y 7.52 cm de los cruzamientos de Salcedo INIA x Huariponcho.

Tabla 5. Análisis de varianza para las variables morfológicas evaluadas en 17 genotipos de quinua.

Variables	Fuente de variación	SC	CM	F	p-valor
Longitud del peciolo (cm)	Genotipo	67.17	4.2	6.63	<0.0001
	Repetición	9.81	3.27	5.16	0.0017
	Error	202.55	0.63		
Longitud máxima de la hoja (cm)	Genotipo	44.46	2.78	3.99	<0.0001
	Repetición	12.46	4.15	5.97	0.0006
	Error	222.56	0.7		
Ancho máximo de la hoja (cm)	Genotipo	130.54	8.16	10.69	<0.0001
	Repetición	10.87	3.62	4.75	0.003
	Error	244.23	0.76		
Área foliar (cm ²)	Genotipo	7618.06	476.13	10.75	<0.0001
	Repetición	549.48	183.16	4.14	0.0068
	Error	14171.42	44.29		

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de promedios permitió identificar que la Flia27 presentó el mínimo valor para el ancho máximo de la hoja, seguidos de las Flia37, Flia86, Flia38 y Flia110 con 5.17, 5.27, 5.3 y 5.32 cm respectivamente. En tanto que, los testigos Blanca de Jericó y Aurora obtuvieron los máximos valores con 6.55 y 7.67 cm respectivamente, resultados que concuerdan con lo reportado por Domínguez (2014) con 6.10, 7.44, 7.29, 7.59, 7.23 y 6.42 cm de los cruzamientos Pasankalla x Kcancolla, mientras que para el área foliar la Flia27 presentó el mínimo valor con 20.01 cm², compartiendo el grupo con Flia86, Flia37, Flia38 y Flia110 con 21.45, 22.88, 23.54 y 23.64 cm² respectivamente. Por su parte, los testigos Blanca de Jericó y Aurora obtuvieron el máximo resultado con 31.27 y 42.29 cm² respectivamente. Finalmente se pudo observar un coeficiente de variación para todas las variables estudiadas entre 10.99 - 25.25%, se presenta poca variabilidad en los datos, en especial en la longitud máxima de la hoja. Sin embargo, es el área foliar donde el coeficiente es mayor, debido probablemente a las diversas formas de las hojas que se presentan en el estudio (Tabla 6).

De acuerdo con los análisis de frecuencia para los descriptores cualitativos, las familias evaluadas presentaron características morfológicas diferentes, en especial la forma de la panoja, siendo la forma intermedia la de mayor frecuencia (8 de 17 genotipos). El color de la panoja en madurez de

cosecha fue casi constante en todos los genotipos (anaranjada), excepto Tunkahuan que presentó color púrpura. Para la densidad de la panoja se observó alta variabilidad, donde la característica de laxa mostró la mayor frecuencia (8 de 17 genotipos). Para la forma del tallo principal, se presentó una frecuencia casi similar para las dos formas, donde anguloso mostró la mayor frecuencia (9 de 17 genotipos). Por otra parte, el color de la lámina foliar y color del peciolo fueron constantes para todos los genotipos. De igual manera, forma del grano, color del grano se mantuvieron de forma constante para todos los materiales. En el descriptor forma de la hoja, triangular presentó la máxima frecuencia (11 de 17 genotipos) y en la margen de la hoja, dentado fue superior (10 de 17 fenotipos).

Análisis de Correspondencia Múltiple

En el Análisis de Correspondencia Múltiple se identificaron variables cualitativas y cuantitativas que explicaron la mayor variabilidad entre los genotipos de quinua. En la Tabla 7, se puede observar que el primer componente explicó el 45.09% de la varianza total, el segundo el 28.98%, para un total de 74.07% de la varianza acumulada. El tercer componente explicó el 25.93%, correspondiente al 100% de la varianza acumulada.

Tabla 6. Prueba de promedios para las variables longitud del peciolo, longitud máxima de la hoja, ancho máximo de la hoja y área foliar en 17 genotipos de quinua.

Genotipo	Longitud del peciolo (cm)	Longitud máxima de la hoja (cm)	Ancho máximo de la hoja (cm)	Área foliar (cm ²)
Flia27	4.02 a	6.99 ab	4.8 a	20.01 a
Flia37	4.23 ab	7.36 abc	5.17 a	22.88 abc
Flia105	4.35 abc	7.86 cde	5.94 c	26.2 bcd
Flia110	4.38 abcd	7.62 cde	5.32 abc	23.64 abc
Tunkahuan	4.55 abcde	7.52 bcd	5.68 bc	25.34 bcd
FliaSJ	4.57 abcde	7.82 cde	5.66 bc	26.99 cde
Flia60	4.61 bcde	7.68 cde	5.69 bc	26.15 bcd
Flia 34	4.64 bcde	7.67 cde	5.88 c	26.66 cd
Flia38	4.78 bcdef	7.69 cde	5.3 abc	23.54 abc
Flia63	4.78 bcdef	7.72 cde	5.42 bc	24.91 bcd
Flia25	4.79 bcdef	7.72 cde	5.63 bc	25.67 bcd
Flia23	4.9 cdef	8.12 de	5.63 bc	26.79 cde
Blanca de Jericó	4.95 def	7.01 ab	6.55 d	31.27 e
Flia86	4.97 def	6.84 a	5.17 ab	21.45 ab
Flia56	4.99 ef	7.73 cde	5.86 c	28.79 de
Flia103	5.22 f	7.42 bc	5.53 bc	25.45 bcd
Aurora	6.08 g	8.22 e	7.67 e	42.29 f
C.V (%)	16.74	10.99	15.33	25.25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Dimensiones ACM para descriptores morfológicos obtenidos en 17 genotipos de quinua.

Componente principal	Eigenvalor (Valor propio)	% varianza total	% varianza acumulada
1	0.270	45.09	45.09
2	0.173	28.98	74.07
3	0.155	25.93	100

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, la primera dimensión mostró una correlación con el descriptor color de panoja en floración (Púrpura) con 36.20%, seguido por margen de la hoja Aserrado con 16.82 y Dentado con 10.38. En la segunda dimensión se explica la variabilidad de los descriptores forma de la hoja romboidal con 30.63%, triangular con 15.43% y por último color del grano con 7.89%. De igual manera, la forma de la hoja, en este caso la expresión romboidal y triangular que fueron la de mayor contribución en el estudio sirve como un descriptor de clasificación, sin embargo, según Romero (2021), en estudios de caracterización agromorfológica de 10 genotipos autofecundados S10, indica que al conocer e integrar la forma y margen de la hoja se podría aumentar las posibilidades de identificar un genotipo, debido a que estaría relacionado con dos características morfológicas para no incurrir en el error y poder clasificarla de una manera más precisa.

En el cuadrante I, se pudo observar que Tunkahuan se encuentra alejado, debido a que presentó la mayor contribución y está representado por CPF_Púrpura y margen de la hoja dentado, siendo este genotipo el único que presentó esta característica púrpura en el color de su panoja. Además, se pudo evidenciar una correlación negativa con CPF_Verde, donde las 14 familias y los testigos Aurora y Blanca de Jericó presentaron esta característica de color verde en la panoja en floración. De igual manera, se evidenció una correlación negativa entre la característica dentado representados por las Flia63, Flia103, Aurora y Flia23 y el margen de la hoja aserrado integrados por Flia25, Flia105, Blanca de Jericó, Flia110 y Flia34, siendo estas características cruciales al momento de identificar Flías con características únicas (Tabla 8 y 9).

Finalmente, en los cuadrantes I y II los descriptores morfológicos más importantes y que representan la mayor contribución son la forma de la hoja romboidal, color de panoja en floración púrpura (CPF_Púrpura), margen de la hoja aserrado, forma de la hoja triangular y margen de la hoja dentado,

lo que podría indicar que estos descriptores son importantes al momento de identificar genotipos con características únicas, por ejemplo el color de la panoja es representativo y se puede apreciar alta variación para esta característica en muchas variedades sembradas en las regiones de mayor impacto por el cultivo de la quinua, como lo indica Barrientos (2020), quien utilizó 17 genotipos de quinua, generados a partir de cruzamientos simples y distantes, realizado en el Centro de Investigación y Producción (CIP) Camacani y la Universidad Nacional del Altiplano en Puno (Perú) y reportó genotipos con color púrpura y verde para el color de la panoja en floración. Sin embargo, algunos genotipos cambiaron a color anaranjado, rosado, blanco y gris durante la etapa de madurez fisiológica (Tabla 8 y 9).

Tabla 8. Contribuciones de los descriptores morfológicos en las dos dimensiones.

Variables	Dim.1*	Dim.2*
FDH – RD	16.28	30.63
FDH -TA	10.19	15.43
MDH- AS	16.82	14.66
MDH- DE	10.38	8.44
CP	0.05	4.23
CL	0.02	0.07
FG	0.425	5.53
CT	0.057	0.04
FTP	0.745	0.012
PR	0.00	0.023
CP_Verde	0.00	0.00
CL_Verde	0.00	0.00
CPF_Púrpura	36.20	1.02
CPF_Verde	2.26	0.06
GD	0.784	5.45
CG	1.55	7.89
LP	0.954	0.017
LH	1.082	2.23
AH	0.034	0.91
AF	1.431	3.35
Σ^2	100	100

Nota: Romboidal (RD), Triangular (TA), Aserrado (AS), Dentado (DE), Color del peciolo (CP), Color de la lámina foliar (CL), Forma del grano (FG), Color del tallo principal (CT), Forma del tallo principal (FTP), Presencia de ramificación (PR), Color de panoja (CP_Verde), Color de panoja en madurez fisiológica (CL_Verde), Color de panoja púrpura (CL_Verde, CPF_Púrpura), Color de panoja en floración (CPF_Verde), grano de dehiscencia (GD), color del grano (CG), longitud del peciolo (cm) (LP), longitud máxima de la hoja (cm) (LH), ancho máximo de la hoja (cm) (AH), área foliar (cm²) (AF). **Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 9. Contribuciones de los genotipos de quinua en las dos dimensiones.

Genotipo	Dim.1*	Dim.2*
Aurora	2.25	0.04
Blanca de Jericó	0.83	12.18
Flia103	2.25	0.04
Flia105	0.83	12.18
Flia110	0.83	12.18
Flia23	2.25	0.04
Flia25	0.83	12.18
Flia27	0.72	16.15
Flia34	2.25	0.04
Flia37	0.72	16.15
Flia38	10.66	0.54
Flia56	2.25	0.04
Flia60	0.72	16.15
Flia63	2.25	0.04
Flia86	10.66	0.54
FliaSJ	10.66	0.54
Tunkahuan	48.97	0.89
Σ^2	100	100

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadrante II, se pudo evidenciar la forma de la hoja romboidal, característica que está representada por las Flia27, Flia37, Flia6, donde se pudo explicar la correlación negativa con la forma de la hoja Triangular, representada por los genotipos Aurora, Blanca de Jericó, Flia103, Flia105, Flia110, Flia23, Flia25, Flia34, Flia56 y Tunkahuan, lo que permitió separar estos dos grupos con el fin de identificarlos al utilizar estos descriptores al momento de caracterizar los genotipos (Tabla 8 y 9).

En la contribución de los genotipos, se puede observar que en la primera dimensión Tunkahuan (TK) mostró la mayor proporción, seguido por las familias FliaSJ, Flia86 y Flia38. En la segunda dimensión se identificó a las familias Flia60, Flia37

y Flia27, seguido de Flia25, Flia110, Flia105 y Blanca de Jericó (Tabla 9).

En la representación de los genotipos de quinua y los descriptores morfológicos, utilizando las dos primeras dimensiones (Tabla 9), se observa gran variabilidad en los descriptores utilizados, donde la mayor contribución corresponde a Tunkahuan, Flia27, Flia37, Flia60, Blanca de Jericó, Flia105, Flia110, Flia38, Flia86 y FliaSJ. Cabe mencionar que Tunkahuan mostró el mayor aporte, debido al color púrpura en la panoja durante las etapas de floración y madurez de cosecha, siendo una característica propia y diferenciable de las familias y los testigos Aurora y Blanca de Jericó. Asimismo, otro aspecto que hace diferente a Tunkahuan frente a las familias y los otros testigos es que presentó una forma de la hoja triangular en contraste con la observada por las familias con forma romboidal. Por otra parte, todos los genotipos, excepto Tunkahuan tienden a estar más cerca del eje central y presentan color verde en la panoja en la etapa de floración (CPF_Verde), en tanto que Flia25, Flia105, Flia110 y Blanca de Jericó muestran rasgos en forma de la hoja triangular y margen aserrada.

Los resultados de color de la panoja en floración y cosecha observados en este estudio (Figura 4), muestran a Tunkahuan con color púrpura en la etapa de floración. En tanto que, los testigos Blanca de Jericó, Aurora, Flia23, Flia25, Flia27, Flia34, Flia37, Flia38, Flia56, Flia103, Flia105, Flia110 presentaron tonalidades verde intenso, mientras que las Flia60, Flia63, Flia86 y FliaSJ presentaron color verde (Figura 4). Finalmente, para el color de la panoja en madurez de cosecha Tunkahuan se mantuvo e intensifico el color púrpura. Mientras que Blanca de Jericó, Aurora, Flia23, Flia25, Flia34, Flia60, Flia63, Flia86, Flia103, Flia105 y Flia110 tuvieron tonalidad amarilla y las Flia27, Flia37, Flia56 y FliaSJ tonalidad anaranjada. Por último, la única con color marrón fue la Flia38.

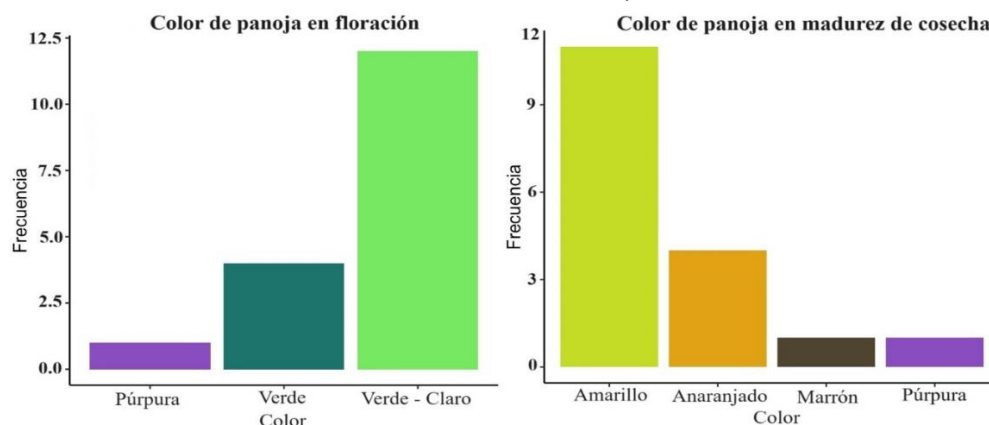


Figura 4. Características de color de la panoja en floración y madurez de cosecha en genotipos de quinua.

Fuente: Elaboración propia.

Según Santana (2019) en estudios de variedades mejoradas y cruzamientos simples para la obtención de genotipos éliticos para mejorar la competitividad del sector quinuero, indican que en investigaciones en campo se podría diferenciar un genotipo de otro simplemente con el margen de la hoja, ya sea dentada o aserrada, sin embargo, no es un criterio tan preciso porque muchas veces se puede empezar a presentar variación y cambio en esta característica simplemente con la presencia de polen de otro genotipo que pueda contaminar el material genético y cruzarse, dado que este carácter es de alta heredabilidad y dada la naturaleza reproductiva de la quinua (ginomonoica), por lo que es de importancia evitar la mezcla del germoplasma, debido a que se estaría incurriendo en uno de los principales problemas en el mejoramiento genético de una especie que es la segregación de caracteres no deseados por la contaminación de polen de otra variedad.

De igual manera, la forma de la hoja, en este caso la expresión romboidal y triangular que fue la de mayor contribución en el estudio sirve como un descriptor de clasificación, sin embargo, según

Romero (2021), en estudios de caracterización agro morfológica de 10 genotipos autofecundados S10, indica que al conocer e integrar la forma y margen de la hoja se podría aumentar las posibilidades de identificar un genotipo, debido a que estaría relacionado con dos características morfológicas para no incurrir en el error y poder clasificarla de una manera más precisa.

Con los resultados obtenidos, se pudo diferenciar los testigos Aurora, Blanca de Jericó y Tunkahuan de las familias, a pesar de que Aurora y Tunkahuan son los parentales de estos genotipos, presentan cualidades diferentes, debido a sus procesos de mejoramiento genético, siendo el tamaño de las hojas un indicador fundamental para distinguirlas, donde las familias presentan hojas pequeñas, debido a su arquitectura de altura inferior que ha facilitado la búsqueda de materiales con porte pequeño de fácil manejo y que cuente con características como la forma de la panoja compacta e intermedia en contraste con los testigos, que muestran una forma laxa, es decir más abierta y con mayor número de panojas (Figura 5).

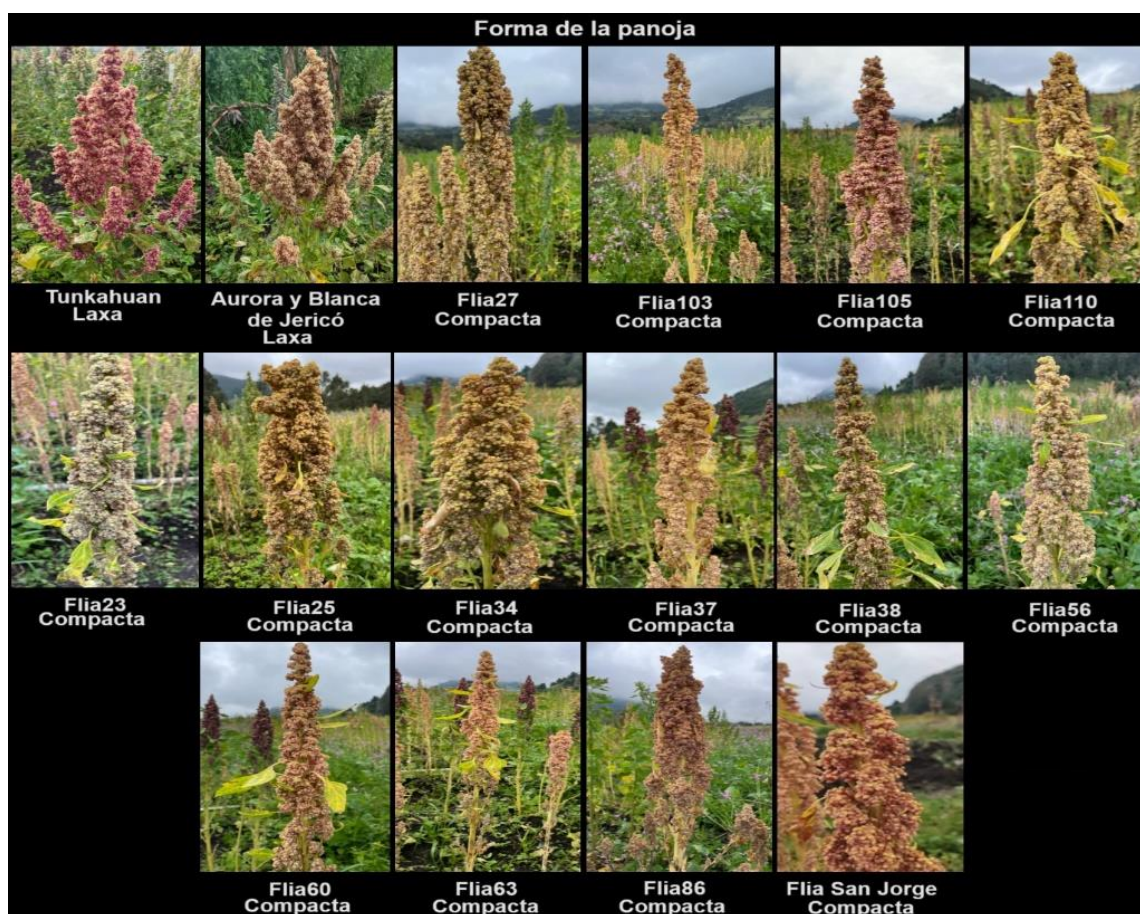


Figura 5. Características de forma de la panoja de genotipos de quinua evaluados. **Fuente:** Elaboración propia.

Otra característica para diferenciar los parentales de las familias es su hábito de crecimiento, como se muestra en la Figura 6, donde las familias presentan una ramificación simple y ramificada hasta el tercio inferior, en tanto que, Tunkahuan y Aurora muestran una ramificación hasta el segundo tercio. En este sentido, los parentales son genotipos que se diferencian por cualidades distinguidas como altura superior, hojas con mayor tamaño, panojas más abiertas y ramificación más pronunciadas.

Finalmente, las familias comparten similitudes como color crema en las semillas y la forma cilíndrica de estas, además del color de la panoja en floración, madurez fisiológica y de cosecha, color verde y anaranjada respectivamente, en contraste

con Tunkahuan, que muestra color púrpura para estas características y la separa en un grupo independiente, no obstante, al ser uno de los parentales de las familias, estas no muestran este color púrpura y esto se debe a que el color amarillo en las panojas y color crema en los granos es una característica buscada por los productores, donde todos los genotipos presentaron un color crema en las semillas y forma cilíndrica (Figura 7). Por otra parte, se cree que colores intensos en las panojas y semillas es un indicador de quinuas amargas, sin embargo Tunkahuan es un cultivo con granos dulces y aceptado para la alimentación humana. Además, respecto a la forma del tallo principal se presenta variabilidad en dos aspectos anguloso y cilíndrico, asimismo, el tallo fue de color amarillo para todos los genotipos (Figura 8).



Figura 6. Característica de hábito de crecimiento en genotipos de quinua. **Fuente:** Elaboración propia.

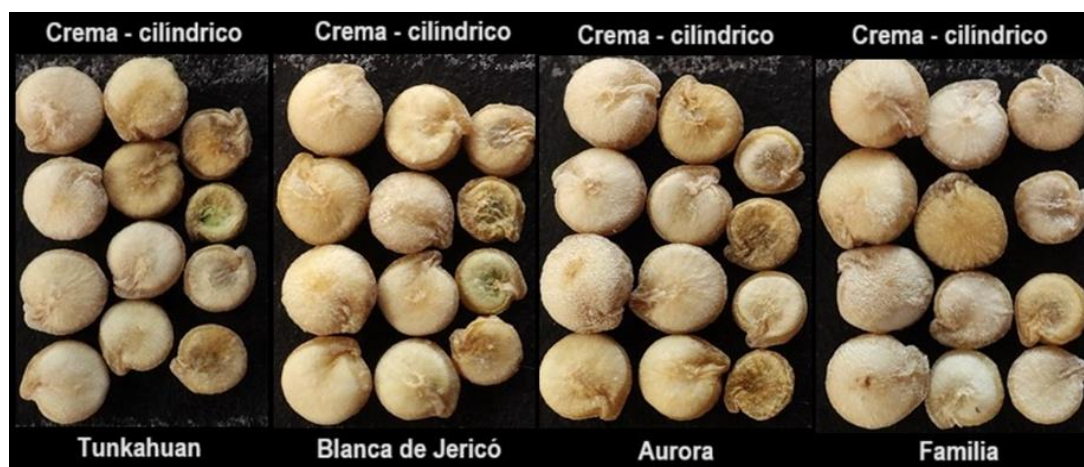


Figura 7. Característica de color y forma del grano en genotipos de quinua. **Fuente:** Elaboración propia.

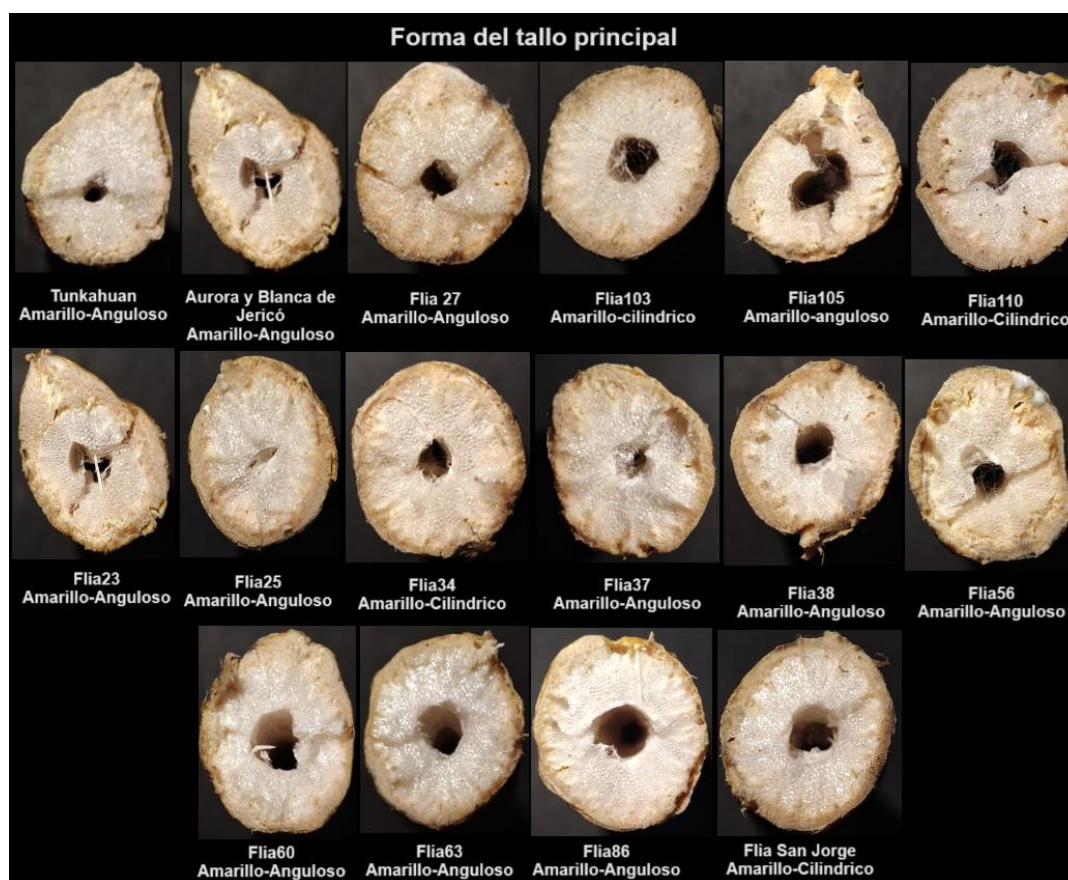


Figura 8. Característica de color y forma del tallo principal en genotipos de quinua. **Fuente:** Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La fenología de los 17 genotipos en la etapa vegetativa fue similar pero se evidenciaron diferencias ($P < 0.05$) en las etapas reproductivas, donde la Flia27 fue la más precoz en las dos localidades, Silvia (138.5 días) y Totoró (103.5 días) y los más tardíos fueron Aurora y Blanca de Jericó con 189.5 días (Silvia) y 147.42 días (Totoró) respectivamente. Esta característica podría ser tomada en cuenta en esquemas de selección como genotipo precoz y se recomienda para ser cultivado en condiciones de Silvia y Totoró en el departamento del Cauca.

El Análisis de Correspondencia Múltiple permitió identificar que los descriptores más discriminantes fueron la forma de la hoja (FDH), margen de la hoja (MDH) y el color de la panoja durante las fases de floración y madurez de cosecha. Igualmente, el Análisis de Correspondencia Múltiple diferenció las familias y los testigos, particularmente en lo que respecta a la forma de la panoja, donde todas las familias compartieron esta característica distintiva, en contraste con los testigos que mostraron panojas más laxas, es decir, más abiertas y con un mayor número de ellas.

En cuanto al patrón de crecimiento, las 14 familias exhibieron una estructura de ramificación simple, mientras que los testigos presentaron ramificaciones extendidas hasta el tercio inferior. Además, se observó que la forma y el color del grano fueron principalmente cilíndricos y crema a través de todos los genotipos evaluados. Tunkahuan fue el único genotipo con color púrpura en la panoja durante las etapas de floración, madurez fisiológica y cosecha, en tanto que, Aurora, Blanca de Jericó y las 14 familias presentaron un color verde característico en estas mismas etapas fisiológicas.

Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al Ingeniero Agrónomo Benjamín Sañudo Sotelo por poner a disposición las 14 familias de quinua evaluadas en esta investigación. A la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira y a la Universidad del Cauca por facilitar el acceso a sus instalaciones para el procesamiento de muestras. A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, por el apoyo logístico para la ejecución del Proyecto “Desarrollo de nuevas recomendaciones tecnológicas para contribuir con la competitividad

y sostenibilidad del sector quinuero del departamento del Cauca”, el cual contó con el soporte financiero del Sistema General de Regalías (SGR) del Departamento del Cauca.

Funding. Colombian Agricultural Research Corporation (AGROSAVIA) and the General Royalties System (SGR) of the Department of Cauca.

Conflict of interests. Nothing to declare.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. Data supporting the findings of this study are available upon request.

Author contribution statement (CRediT). M.A. Pizo-Ossa – Investigation, data curation, formal analysis, writing - review and editing. C. Montes-Rojas – Investigation, writing and editing. G.A. Aguilera-Arango – Conceptualization, Investigation, writing – review and editing. Y. Ramos-Villafañe – Investigation, supervision. J.L. López-Hoyos – Data curation, writing - review and editing. Y. Morillo-Coronado – Project administration, writing - review and editing.

REFERENCES

- Abdelaleem, M.A. and Elbassiony, K.R.A., 2021. Evaluation of phytochemicals and antioxidant activity of gamma irradiated quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Brazilian Journal of Biology*, 81(3), pp. 806-813. <https://doi.org/10.1590/15196984.232270>
- Adolf, V.I., Jacobsen, S.E. and Shabala, S., 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, pp. 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004>
- Antognoni, F., Potente, G., Biondi, S., Mandrioli, R., Marincich, L. and Ruiz, K.B., 2021. Free and conjugated phenolic profiles and antioxidant activity in quinoa seeds and their relationship with genotype and environment. *Plants*, 10(6), pp. 1-15. <https://doi.org/10.3390/plants10061046>
- Bazile, D., Jacobsen, S.E. and Verniau, A., 2016. The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in plant science*, 7, (2016), pp. 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>
- Bedoya Perales, N.S., Pumi, G., Mujica, A., Talamini, E. and Domingos Padula, A., 2018. Quinoa expansion in Peru and its implications for land use management. *Sustainability*, 10(2), pp. 532. <https://doi.org/10.3390/su10020532>
- FAO., 2012. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), University of Cardaba and IAS - CSIC, KU Leuven University y University of California. 2012. Crop Yield Response to Water. Herbaceous crops. FAO irrigation and drainage. paper 66, pp. 230- 235
- García-Parra, M.Á. and Plazas-Leguizamón, N.Z., 2018. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en los sistemas de producción agraria. *Revista Producción + Limpia*, 13(1), pp. 112-119. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n1a6>
- Graf, B.L., Rojas-Silva, P., Rojo L.E., Delatorre-Herrera J., Baldeón, M.E. and Raskin, I., 2015. Innovations in Health value and Functional Food Development of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), pp. 431-445. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12135>
- Hinojosa, L., González, J.A., Barrios-Masias, F.H., Fuentes, F. and Murphy, K.M., 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, 7(4), pp. 106. <https://doi.org/10.3390/plants7040106>
- Hong S, Cheon K, Yoo Ki and Lee H., 2017. Complete chloroplast genome sequences and comparative analysis of *Chenopodium quinoa* and *C. album*. *Frontiers in Plant Science*, 8(2017), pp. 1696. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01696>
- Infante, R.H., Albesiano, S., Arrieta, L. and Gómez, N., 2018. Morphological characterization of varieties of *Chenopodium quinoa* cultivated in the Department of Boyacá, Colombia. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 21(2), pp. 329-339. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.977>

- International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA. 2013. Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Bioversity International, Roma, Italia; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, La Paz, Bolivia; Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Roma, Italia.
- Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z. and Song, S., 2019. Quinoa: In perspective of global challenges. *Agronomy*, 9(4), pp. 176. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040176>
- Manjarres, E.H., Morillo-Coronado, A.C., Ojeda-Pérez, Z.Z., Cárdenas Chaparro, A. and Arias-Moreno, D.M., 2021. Characterization of the yield components and selection of materials for breeding programs of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Euphytica*, 217(6), pp. 101. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02837-5>
- Mestanza, Uquillas, C., Zambrano Calderón, K., Pinargote, Alava, J., Veliz, Zamora, D., Vásconez, Montufar, G., Fernández, N. and Olmos, E., 2019. Evaluación agronómica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones agroclimáticas en la zona de Mocache. *Revista Ciencia y Tecnología*, 12(1), pp. 19-30. <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.316>
- Montes-Rojas, C., Burbano, Catuche, G.A., Muñoz-Certuche, E.F. and Calderón-Yonda, Y., 2018. Description of phenological cycle of four ecotypes of (*Chenopodium quinoa* Willd.) at Purace-Cauca, Colombia. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), pp. 26-37. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(16\)26-37](https://doi.org/10.18684/BSAA(16)26-37)
- Montes-Rojas, C., Burbano, Catuche, G.A. and Muñoz-Certuche, E.F., 2020. Evaluación del rendimiento de quinua bajo diferentes densidades, fertilización y métodos de siembra en Cauca. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(1), pp. 46-55. <http://dx.doi.org/10.18684>
- Morillo, A., Manjarres, E., Reyes, W. and Morillo, Y., 2020. Intrapopulation phenotypic variation in Piartal (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the Department of Boyacá, Colombia. *African Journal of Agricultural Research*, 16(8), pp. 1195-1203. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14916>
- Navruz-Varli, S. and Sanlier, N., 2016. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69(2016), pp. 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>
- Salcedo, S., Canihua, Rojas, J., Quispe, M. and Cosme, R., 2022. Influencia de las enmiendas orgánicas en el suelo y el comportamiento agronómico de *Chenopodium quinoa* Willd. en el Altiplano peruano. *Agroindustrial Science*, 12(1), pp. 39-46. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.05>
- Urdanegui, P., Pérez Ávila, Á.A., Estrada Zúñiga, R., Neyra Valdez, E., Mujica, Á. and Corredor Arizapana, F. A., 2021. Rendimiento y evaluación agromorfológica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Huancayo, Perú. *Agroindustrial Science*, 11(1), pp. 63-71. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.08>
- Vilca, S.M., Espinoza, P. and Vidal, A.P., 2015. Multiplicación de semilla de variedades y ecotipos de quinua en Valle de Majes-Arequipa. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17(3), pp. 2. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.147>
- Zhang, T., Gu, M., Liu, Y., Lv, Y., Zhou, L., Lu., H., Liang, S., Bao, H. and Zhao, H., 2017. Development of novel InDel markers and genetic diversity in *Chenopodium quinoa* through whole-genome re-sequencing. *BMC Genomics*, 18, pp. 685. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4093-8>
- Zurita, S.A., Fuentes, F., Zamora, P. and Jacobsen, S., 2014. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Molecular Breeding*, 34(1), pp. 13-30. <https://doi.org/10.1007/s11032-014-0023-5>