



Variabilidad morfoagronómica de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) nativa tipo Chimborazo en Ecuador¹

Morphoagronomic variability of native quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Chimborazo type in Ecuador

Hugo Alejandro Castro-Albán^{2,4}, Rosa del Pilar Castro-Gómez³, Yelenys Alvarado-Capó⁴

- ¹ Recepción: 30 de noviembre, 2022. Aceptación: 22 de febrero, 2023. Este trabajo formó parte de la tesis en el Programa Doctoral en Biotecnología Vegetal, impartido en el Instituto de Biotecnología de las Plantas de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.
- ² Agromikroben, Riobamba, Chimborazo, Ecuador. castroalex1711@hotmail.es (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0002-2952-9667>).
- ³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo, Ecuador. rosa.castro@esPOCH.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0002-8956-697X>).
- ⁴ Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Instituto de Biotecnología de las Plantas. Carretera a Camajuani km 5.5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. yelenys@ibp.co.cu (<https://orcid.org/0000-0003-1721-717X>).

Resumen

Introducción. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo estratégico e importante en la seguridad y soberanía alimentaria. Es el único alimento vegetal que proporciona todos los aminoácidos esenciales. Su amplia diversidad varietal constituye un acervo genético valioso, se adapta a diferentes condiciones agroecológicas y es tolerante a heladas, sequías y salinidad. **Objetivo.** Realizar una caracterización morfoagronómica de la quinua nativa tipo Chimborazo en Ecuador. **Materiales y métodos.** La investigación se realizó en la provincia de Chimborazo, cantón Colta, parroquia Sicalpa, comunidad de Ocpote Tablarumi en Ecuador entre enero y julio de 2021. Se emplearon semillas pertenecientes a una familia andina que las ha seleccionado y conservado en todos los ciclos de cultivo durante generaciones. El cultivo se estableció con siembra a chorro continuo a razón de 12 kg/ha en un área total de la parcela de 640 m² (estimado de 10 240 plantas). Después de la emergencia se seleccionaron al azar y se marcaron 100 plantas que se tomaron como unidades básicas para la caracterización de la población. Se utilizaron descriptores fenotípicos del cultivo establecidos a nivel internacional y se evaluaron caracteres cualitativos (16) y cuantitativos (12). **Resultados.** Los resultados evidenciaron variabilidad fenotípica. El color del tallo y de las estrías, el diámetro de la panoja, la longitud de la panoja y los días a la cosecha fueron las características que más contribuyeron a la variabilidad observada. **Conclusiones.** La población de plantas de quinua nativa tipo Chimborazo evaluada a través de 100 individuos, mostró variabilidad fenotípica tanto en características cuantitativas como cualitativas, con mayor frecuencia en el diámetro de la panoja, la longitud de la panoja, la longitud del peciolo, la altura de la planta, el ancho de la hoja, el rendimiento, el color del tallo y de las estrías.

Palabras clave: ecotipos, especies nativas, morfología, saponinas.



Abstract

Introduction. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a strategic and important crop for food security and sovereignty. It is the only plant-based food that provides all essential amino acids. Its wide varietal diversity constitutes a valuable genetic resource, as it adapts to different agroecological conditions and is tolerant to frost, drought and salinity. **Objective.** To perform a morpho-agronomic characterization of native Chimborazo-type quinoa in Ecuador. **Materials and Methods.** The research was conducted in the province of Chimborazo, Colta canton, Sicalpa parish, Ocpote Tablarumi community in Ecuador between January and July 2021. Seeds from an Andean family that had selected and conserved them in all cultivation cycles for generations were used. The crop was established by continuous sowing at a rate of 12 kg/ha in a total plot area of 640 m² (estimate to contain 10,240 plants). After the emergence, 100 randomly selected plants were marked and taken as basic units for the population characterization. Phenotypic descriptors established at international level were used, evaluating both qualitative (16) and quantitative (12) traits. **Results.** The results revealed phenotypic variability. Stem and streak color, panicle diameter, panicle length, and days to harvest were the characteristics that most contributed to the observed variability. **Conclusions.** The population of native Chimborazo-type quinoa evaluated through 100 individuals showed phenotypic variability in both quantitative and qualitative traits, with greater frequency observed in panicle diameter, panicle length, petiole length, plant height, leaf width, yield, and stem and streak color.

Keywords: ecotypes, native species, morphology, saponins.

Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es uno de los alimentos más importantes cultivados en las tierras altas andinas. Por su calidad nutritiva y tolerancia a factores abióticos, esta especie ha ganado importancia global (Alandia et al., 2020; Hinojosa et al., 2021; Pathan & Siddiqui, 2022; Stanschewski et al., 2021). Además, la quinua se considera un cultivo estratégico que puede contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria, debido a su amplia variabilidad genética, adaptabilidad, bajo costo de producción, poco demandante en insumos y mano de obra. Se puede cosechar desde el nivel del mar hasta los 4000 m de altitud (Bioversity International et al., 2013; Stanschewski et al., 2021) y es tolerante a condiciones adversas como estrés hídrico, heladas y a los suelos pobres (Food and Agricultural Organization of the United Nations, & Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, 2015; Jacobsen & Sherwood, 2002; Murphy et al., 2016).

Se reconocen cinco ecotipos principales adaptados a ambientes específicos: Altiplano, Salar, Yunga, Valles interandinos y a nivel del mar (Bazile et al., 2016). En los agroecosistemas andinos, la quinua forma parte de los sistemas de producción de pequeños, medianos y grandes agricultores (Mazón et al., 2001). Ecuador se considera subcentro de diversificación de esta planta (Bazile et al., 2016; Tapia et al., 2014). Se cultiva en las provincias de Carchi, Cotopaxi, Imbabura y Chimborazo; en esta última, el rendimiento en el año 2019 fue de 0,61 toneladas por hectárea (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019) y se produce bajo certificación orgánica de la Unión Europea y Estados Unidos de América (Hinojosa et al., 2021).

Estudios de caracterización de razas de quinua cultivada en Ecuador, apuntan a que este germoplasma muestra cierto grado de uniformidad fenotípica en determinados caracteres y se clasifica dentro del ecotipo Valle, aunque se ha constatado elevada diversidad genética. Exhibe características como madurez tardía, plantas de porte alto y con elevado potencial de producción de biomasa y rendimiento en grano (Gandarillas et al., 1989; Hinojosa et al., 2021; Peralta & Mazón, 2015; Salazar et al., 2019).

La quinua presenta una amplia diversidad de colores, tipos de ramificación, entre otros caracteres que se aprecian en las áreas de cultivo. Dichas características han llevado a afirmar que no es posible hablar de variedades puras y en general, se trata de poblaciones seleccionadas que presentan determinada pureza y uniformidad (Nieto et al., 1986). Autores de diferentes países han referido el estudio de la variación de las características morfológicas y otros parámetros genéticos, así como su asociación con caracteres de interés (Lozano-Isla et al., 2023; Morillo-Coronado et al., 2022). Entre ellos, contenido de saponina en los granos, tolerancia al frío y/o resistencia a organismos patógenos (Fuentes et al., 2009; Infante et al., 2018; Mahdavi Rad et al., 2022; Torres et al., 2000; Urdanegui et al., 2021; Vergara et al., 2020).

Los pequeños agricultores usan las semillas que están en el entorno familiar y prefieren cultivar la quinua nativa sobre todo por su sabor, valor nutricional y por su demanda en los mercados locales (Delgado Pilla et al., 2019). Sin embargo, se ha informado de una erosión genética significativa en las últimas décadas, a partir del cultivo de variedades comerciales de quinua en detrimento de las variedades nativas (Hinojosa et al., 2021; Vía & Fernández, 2015).

Al igual que en diferentes países, en Ecuador, los campesinos cuentan con semillas a las que denominan chaucha y dulce, que por lo general están mezcladas y no permiten tener una plantación y cosecha uniformes (Mina Chala et al., 2012). En la provincia de Chimborazo predomina el uso de quinua nativa. Sus semillas se han preservado como patrimonio familiar en familias productoras a través del tiempo (Peralta & Mazón, 2015). El 80 % de los productores seleccionan sus propias semillas de quinua todos los ciclos de producción y las variedades tipo Chimborazo y la comercial INIAP Tunkahuan son las más utilizadas (Monteros Guerrero, 2016). La quinua tipo Chimborazo se ha descrito como heterogénea en sus características fenotípicas, puede alcanzar una altura mayor de 2 m según el manejo agronómico, además, muestra varios colores en la madurez (Gandarillas et al., 1989).

La amplia variabilidad genética de las variedades nativas de quinua, causa problemas en cuanto a manejo del cultivo, cosecha y poscosecha (Monteros Guerrero, 2016), y también garantiza que los agricultores puedan obtener cosechas ante adversidades climáticas (Stanschewski et al., 2021). Además, esta variabilidad debe ser considerada en los programas de mejoramiento genético del cultivo (Lozano-Isla et al., 2023). Por tales razones, el estudio de la variabilidad fenotípica de la quinua tiene gran importancia y ha sido previamente informada por otros autores (Allende Ciballero, 2017; Infante et al., 2018; Morillo-Coronado et al., 2020; Torres et al., 2000; Vergara et al., 2020).

Aunque se dispone de estudios de caracterización de accesiones, variedades y ecotipos de quinua que se cultivan en Ecuador (Ochoa & Peralta, 1988; Peralta et al., 2015; Salazar et al., 2019), los resultados se relacionan con la comparación entre materiales vegetales de diferente origen. Sin embargo, los análisis de la variabilidad son escasos dentro de las poblaciones que cultivan los agricultores andinos y que proceden de semillas de origen familiar. Ante la necesidad de la promoción de la diversidad agrícola y la conservación de las especies nativas, la caracterización morfológica y agronómica de las variedades que se emplean en la agricultura orgánica cobra gran importancia. El objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización morfoagronómica de quinua nativa tipo Chimborazo en Ecuador.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

La presente investigación se realizó en la provincia de Chimborazo, cantón Colta, parroquia Sicalpa, comunidad de Ocpote Tablarumi en Ecuador (18°22'30,9''S, 78°66'59,03''W), ubicada a 3200 m s. n. m. Las condiciones climáticas predominantes durante el ensayo se caracterizaron por una temperatura promedio de 10,5 °C, humedad relativa del 73 %, precipitación de 621 mm y velocidad del viento de 2,1 m/s. El área de estudio se caracteriza por tener una estación lluviosa entre enero y abril, y una seca entre mayo y septiembre, con una precipitación anual promedio de 621 mm.

La plantación se estableció en el mes de enero y se extendió hasta el mes de julio del año 2021, en la Finca de una familia de agricultores andinos, se emplearon semillas de quinua nativa tipo Chimborazo conservadas por varias generaciones familiares como patrimonio bajo un criterio de selección propio. El cultivo se llevó a cabo en un suelo con un pH ligeramente ácido (6,1), de textura franco arenoso, estructura suelta y fertilidad media del orden de los Andisoles, negro andino. La siembra se realizó a chorro continuo para una densidad de 12 kg/ha (Peralta, 2009), con una distancia entre hileras de 80 cm y un área total de la parcela de 640 m², para un estimado de 10 240 plantas. El surcado se hizo de forma manual. Se emplearon prácticas agrícolas tradicionales del cultivo orgánico.

Después de la emergencia se seleccionó una muestra probabilística al azar constituida por 100 plantas (~1,0 % de la población), que se marcaron y se tomaron como unidades básicas de caracterización (Núñez-Colín & Escobedo-López, 2011). El aporque se realizó cuando el cultivo presentó el 50 % de panojamiento. La cosecha se llevó a cabo de forma manual, con base en la presencia de signos de madurez fisiológica que se identificaron por observación visual y al tacto, las panojas se colocaron al aire libre para su secado por el sol y el viento, antes de la trilla. La trilla fue manual mediante el golpe a la panoja (Gómez Pando & Aguilar Castellanos, 2016).

Caracterización morfoagronómica

Para la evaluación morfoagronómica de las plantas, se seleccionaron veintiocho descriptores fenotípicos del cultivo (dieciséis cualitativos y doce cuantitativos), que abarcaron las principales características de las plantas (Cuadro 1), compilados por Bioversity International et al. (2013) y se siguieron las indicaciones para su registro, que se llevó a cabo por observación directa en el campo durante todas las etapas de desarrollo del cultivo.

Cuadro 1. Descriptores morfoagronómicos empleados para la evaluación en una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd nativa tipo Chimborazo cultivada en Colta, Ecuador. 2021.

Table 1. Morphoagronomic descriptors used for the evaluation in a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Willd cultivated in Colta, Ecuador. 2021.

Número	Nombre del descriptor	Número	Nombre del descriptor
5.5	Fecha de cosecha [AAAAMMDD]	7.8.2	Color de la panoja en la floración
7.3	Hábito de crecimiento	7.8.3	Color de la panoja en la madurez fisiológica
7.4	Altura de la planta [cm]	7.8.4	Forma de la panoja
7.5.1	Forma de tallo principal	7.8.5	Longitud de la panoja [cm]
7.5.2	Diámetro del tallo principal [mm]	7.8.6	Diámetro de la panoja [cm]
7.5.3	Color del tallo principal	7.9.8	Rendimiento de semilla por planta [g]
7.5.4	Presencia de axilas pigmentadas	7.9.13	Forma del grano
7.5.5	Presencia de estrías	8.2	Vigor a la emergencia
7.5.6	Color de las estrías	8.4	Número de días hasta el inicio de floración [d]
7.7.4	Longitud del pecíolo [cm]	8.5	Número de días hasta el 50 % de floración [d]
7.7.5	Longitud máxima de la hoja [cm]	8.9	Número de días hasta el 50 % de la madurez fisiológica [d]
7.7.6	Ancho máximo de la hoja [cm]	8.10	Presencia de saponina
7.7.8	Color de la lámina foliar	8.11	Efluencia de saponina
7.7.9	Color de gránulos en las hojas	7.7.2	Margen (borde) de la hoja

Fuente: / Source: Bioversity International (2013).

Análisis de datos

El procesamiento estadístico de los datos se realizó en el programa PAST versión 4.02 (Hammer et al., 2001), se tuvieron en cuenta los criterios establecidos por Franco e Hidalgo (2003) para el análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Los datos registrados de las variables cualitativas se sometieron a un análisis de frecuencia y de correspondencias múltiples. Mediante un análisis de componentes principales se procesaron los resultados de las variables cuantitativas. Con las variables que más contribuyeron a la variabilidad se realizó un análisis de conglomerados basado en la distancia Euclidiana, los individuos evaluados durante el ciclo de cultivo se agruparon y se usó como algoritmo el método de Ward.

Resultados

Caracterización morfoagronómica

El vigor de la semilla de quinua nativa tipo Chimborazo a la emergencia se consideró bueno de acuerdo con la clasificación que establece el descriptor 8.2 (1. Malo, 2. Regular, 3. Bueno). En la muestra de la plantación estudiada transcurrieron 100 días hasta el inicio de la floración, 130 días hasta que el 50 % de las plantas se encontraron en floración (Figura 1G) y 160 días para que el 50 % de las plantas mostraran madurez fisiológica.

Las características fenotípicas de las plantas se correspondieron con las descritas para la especie *C. quinoa*. En los atributos morfológicos de la planta se observó hábito de crecimiento ramificado con un 52 % y simple con 48 % (Figuras 1F y 1H). Los colores predominantes del tallo fueron amarillo (43 %), rojo (35 %), púrpura (12 %) y verde (10 %) (Figura 1E). El 70 % de las plantas presentaron estrías en el tallo, de color verde (76 %) o púrpura (24 %) (Figura 1B), se constató la presencia de axilas pigmentadas en el 67 % (Figura 1C) de ellas. Predominó el margen dentado en las hojas con un 66 % de frecuencia sobre el entero con 34 % (Figura 1A). La presencia de oxalatos de color púrpura en las hojas se observó en el 70 % de las plantas (Figura 1D).

De los colores incluidos en los descriptores para quinua y sus parientes silvestres, para las panojas en la floración se observó una frecuencia del 54 % panojas verdes, una frecuencia del 37 % color púrpura y una frecuencia del 9 % rojas (Figuras 2A, 2B, 2C). A la madurez fisiológica se amplió el número de colores a cinco, donde predominó el púrpura con 62 % de frecuencias, sobre el blanco con un 22 %, rojo con un 11 %, amarillo con el 3 % y rosado con un 2 % (Figuras 2D, 2E, 2F, 2G y 2H, respectivamente).

Las panojas con forma amarantiforme prevalecieron con un 76 % sobre las glomeruladas (24 %). Con respecto a los granos, la forma fue lentiforme y los colores el blanco opaco y crema (Figura 3). En todas las plantas evaluadas hubo presencia de saponinas con base en el criterio del descriptor cualitativo efluencia de saponina (8.11), con un rango de 70 % con mucha, el 20 % regular y el 10 % poca.

El análisis de correspondencias múltiples realizado, mostró que las dos primeras dimensiones explicaron el 56,35 % de la variabilidad fenotípica total observada entre las plantas evaluadas. El color del tallo y de las estrías fueron las variables cualitativas que contribuyeron en mayor grado a esa variabilidad (Figura 4).

En cuanto a la evaluación de los descriptores cuantitativos, se encontró que los coeficientes de variación en las variables cuantitativas oscilaron entre 5,31 % y 22,80 %. Los valores más altos se encontraron en el diámetro de la panoja, la longitud de la panoja, la longitud del peciolo, la altura de la planta, el ancho de la hoja y el rendimiento, en orden descendente (Cuadro 2).

La heterogeneidad en los caracteres fenotípicos de la población se reflejó también en los días a la cosecha, con un rango de 40 días entre el menor y el mayor tiempo a los cuales las plantas estaban aptas para llevar a cabo esta labor (Cuadro 3). No obstante, entre 180 y 205 días se concentró el 84 % de las plantas, donde el 54 % de 180 a

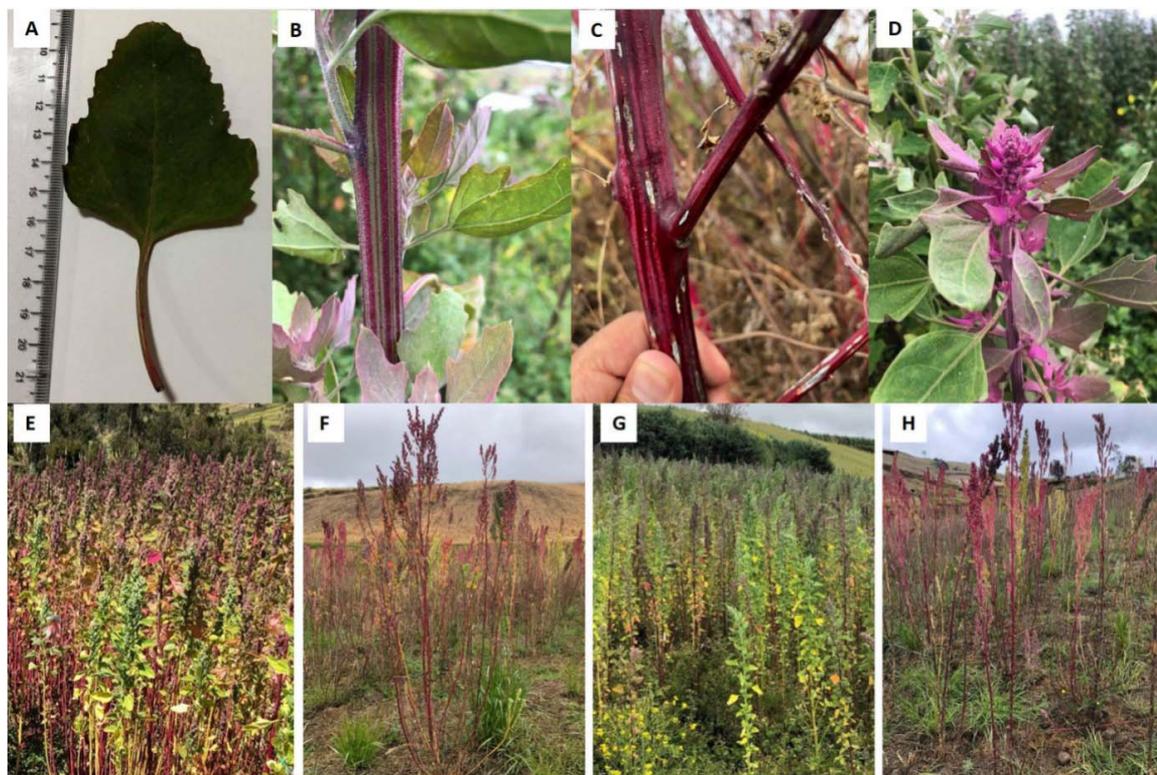


Figura 1. Descriptores cualitativos empleados para la evaluación en una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd nativa tipo Chimborazo. a) Margen (borde) de la hoja. b) Presencia de estrías. c) Presencia de axilas pigmentadas. d) Color de gránulos en las hojas. e) Color del tallo principal. f) Hábito de crecimiento ramificado hasta el segundo tercio. g) Número de días hasta el 50 % de floración. h) Hábito de crecimiento simple. Colta, Ecuador, 2021.

Figure 1. Qualitative descriptors used for the evaluation in a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Willd. a) Leaf margin (edge). b) Presence of streaks. c) Presence of pigmented armpits. d) Color of granules on the leaves. e) Color of the main stem. f) Growth habit branched up to the second third. G) Number of days until 50 % flowering. h) Simple growth habit (H). Colta, Ecuador, 2021.

190 días y 30 % de 191 a 205 días. Relacionado con lo anterior, el rendimiento por planta varió entre 3,70 g y 5,30 g, con un coeficiente de variación de 11,26 % (Cuadro 2).

El análisis de componentes principales con las variables cuantitativas mostró que en los tres primeros se concentró el 98,54 % de la varianza (Cuadro 3), y corroboró que las variables que más incidieron según sus coeficientes absolutos fueron los días a la cosecha, la longitud de la panoja y el diámetro de la panoja (Cuadro 4).

Con base en las características que más incidieron en la variabilidad (color de las estrías, color del tallo, días a la cosecha, longitud de la panoja y diámetro de la panoja), el conjunto de individuos evaluados se clasificó en dos grupos a una distancia Euclidiana de 96; a una distancia menor (46) los grupos se subdividieron uno en dos y otro en tres (Figura 5). El 57 % de los individuos se concentró en los grupos 4 y 5. En todos los casos a menores distancias en cada grupo se distinguieron entre cuatro y siete subgrupos que no se distinguieron por características específicas.

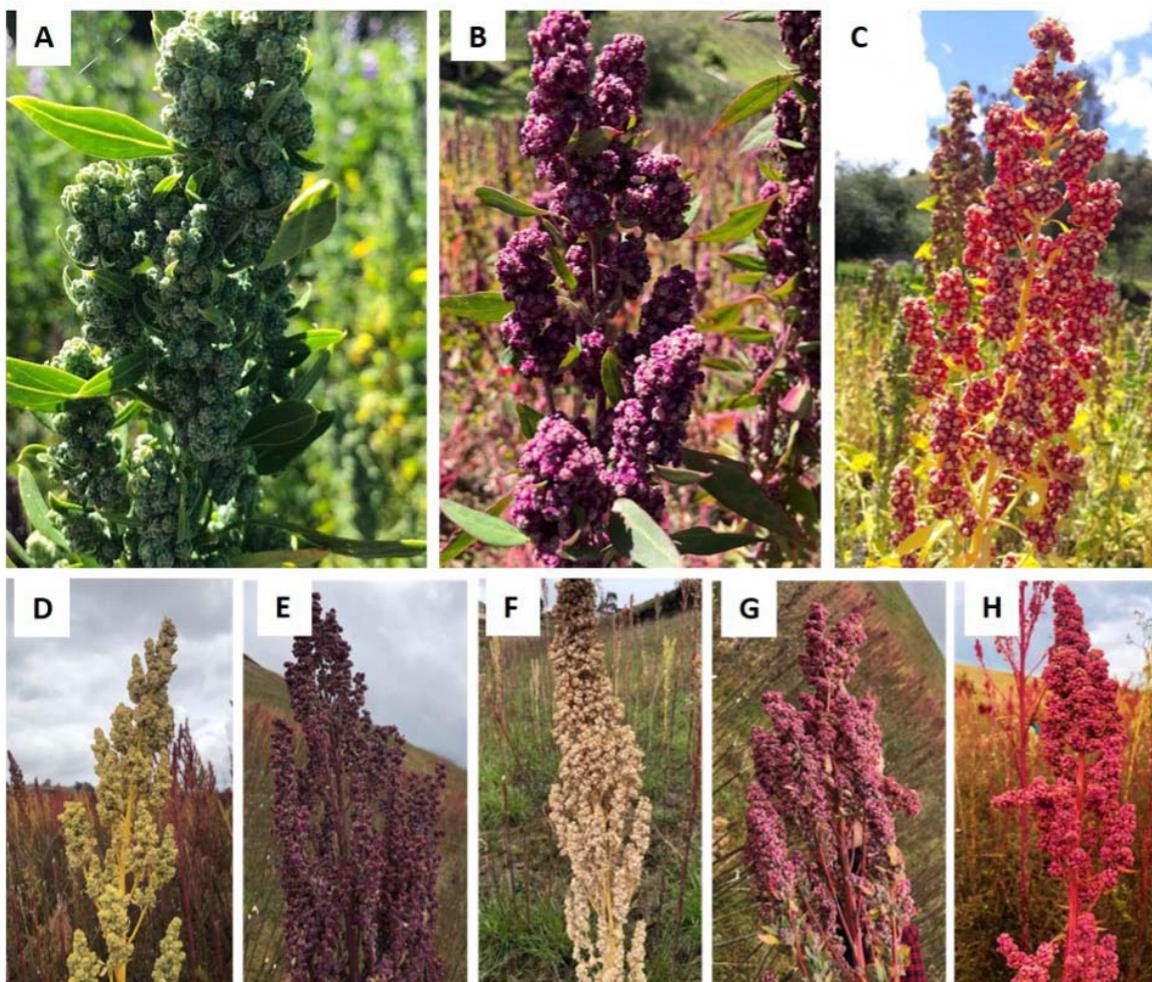


Figura 2. Descriptores cualitativos empleados para la evaluación en una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd. nativa tipo Chimborazo. a) Color verde de la panoja en floración. b) Color púrpura de la panoja en floración. c) Color rojo de la panoja en floración. d) Color amarillo de la panoja en la madurez fisiológica. e) Color púrpura de la panoja en la madurez fisiológica. f) Color blanco de la panoja en la madurez fisiológica. g) Color rojo de la panoja en la madurez fisiológica. h) Color rosado de la panoja en la madurez fisiológica. Colta, Ecuador, 2021.

Figure 2. Qualitative descriptors used for the evaluation of a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Willd. a) Green color of the flowering panicle. b) Purple color of the flowering panicle. c) Red color of the flowering panicle. d) Yellow color of the panicle at physiological maturity. e) Purple color of the panicle at physiological maturity. f) White color of the panicle at physiological maturity. g) Red color of the panicle at physiological maturity. h) Pink color of the panicle at physiological maturity. Colta, Ecuador, 2021.



Figura 3. La forma del grano fue lentiforme (A), en la evaluación en una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd nativa tipo Chimborazo. Se incluyen fotos de la cosecha y desgrane (B, C). Colta, Ecuador. 2021.

Figure 3. The grain shape was lentiform (A) in the evaluation of a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Willd. Harvesting and threshing photos are included (B, C). Colta, Ecuador. 2021.

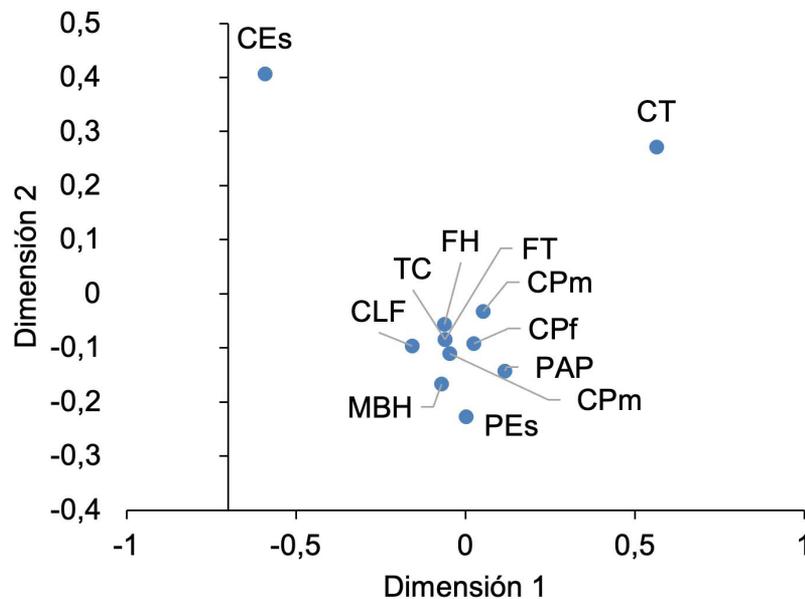


Figura 4. Análisis de correspondencia entre variables cualitativas utilizadas para la evaluación en una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd nativa tipo Chimborazo. Ces) Color de las estrías. CT) Color del tallo. FT) Forma del tallo. FH) Forma de la hoja. TC) Tipo de crecimiento. CLF) Color de la lámina foliar. MBH) Margen del borde de la hoja. PEs) Presencia de estrías. CPf) Color de la panoja en la floración. CPm) color de la panoja en la madurez fisiológica. Colta, Ecuador. 2021.

Figure 4. Correspondence analysis between qualitative variables used for the evaluation in a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Willd. Ces) Streak color. CT) Stem color. FT) Stem form. FH) Leaf form. TC) Growth type. CLF) Leaf blade color. MBH) Leaf border margin. PEs) Presence of streaks. CPf) Color of the panicle at flowering. CPm) Color of the panicle at physiological maturity. Colta, Ecuador. 2021.

Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables cuantitativas evaluadas en una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd nativa tipo Chimborazo cultivada en Colta, Ecuador. 2021.

Table 2. Descriptive statistics of the quantitative variables evaluated in a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Willd cultivated in Colta, Ecuador. 2021.

	Altura planta (m)	Diám. Tallo (cm)	Long. peciolo (cm)	Ancho hoja (cm)	Long. hoja (cm)	Long. panoja (cm)	Diám. panoja (cm)	Rend. (g/ planta)	Días a cosecha
Mín.	1,70	1,10	3,43	5,78	6,46	22,00	11,00	3,70	165,00
Máx.	2,90	1,70	7,44	9,25	9,55	43,00	28,00	5,30	205,00
Rango	1,20	0,60	4,01	3,47	3,09	21,00	17,00	1,60	40,00
Media	2,31	1,38	5,39	7,70	7,95	31,98	18,90	4,61	186,54
Mediana	2,34	1,38	5,37	7,75	7,73	31,00	19,00	4,65	185,00
Error estándar	0,03	0,01	0,08	0,09	0,07	0,56	0,43	0,05	0,99
Varianza	0,10	0,02	0,72	0,79	0,46	31,72	18,58	0,27	98,13
Desv. estándar	0,32	0,12	0,85	0,89	0,68	5,63	4,31	0,52	9,91
Coef. var	13,72	8,97	15,69	11,55	8,57	17,61	22,80	11,26	5,31

Cuadro 3. Análisis de componentes principales de variables cuantitativas empleadas en una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd nativa tipo Chimborazo cultivada en Colta, Ecuador. 2021.

Table 3. Main components analysis of quantitative variables used in a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Willd cultivated in Colta, Ecuador. 2021.

CP	Valores propios	Proporción de la varianza	
		Absoluta (%)	Acumulada (%)
1	99,25	65,83	65,83
2	30,99	20,55	86,38
3	18,34	12,16	98,54
4	0,75	0,50	99,04
5	0,66	0,44	99,47
6	0,43	0,28	99,76
7	0,26	0,17	99,93
8	0,09	0,06	99,99
9	0,01	0,01	100,00

Cuadro 4. Componentes principales seleccionados y coeficientes de variables cuantitativas empleadas para la evaluación en una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd nativa tipo Chimborazo cultivada en Colta, Ecuador. 2021.

Table 4. Selected main components and coefficients of quantitative variables used for the evaluation in a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Willd cultivated in Colta, Ecuador. 2021.

Variable	CP1	CP2	CP3
Altura de la planta (cm)	-0,003	-0,006	-0,001
Diámetro del tallo principal (cm)	-0,001	0,004	0,005
Longitud del pecíolo (cm)	-0,006	0,024	-0,030
Ancho de la hoja (cm)	-0,025	0,011	0,015
Longitud de la hoja (cm)	-0,008	-0,016	0,029
Longitud de la panoja (cm)	0,119	0,984	0,128
Diámetro de la panoja (cm)	-0,033	-0,124	0,991
Rendimiento por planta (g)	-0,008	-0,004	-0,017
Días a la cosecha	0,992	-0,122	0,018

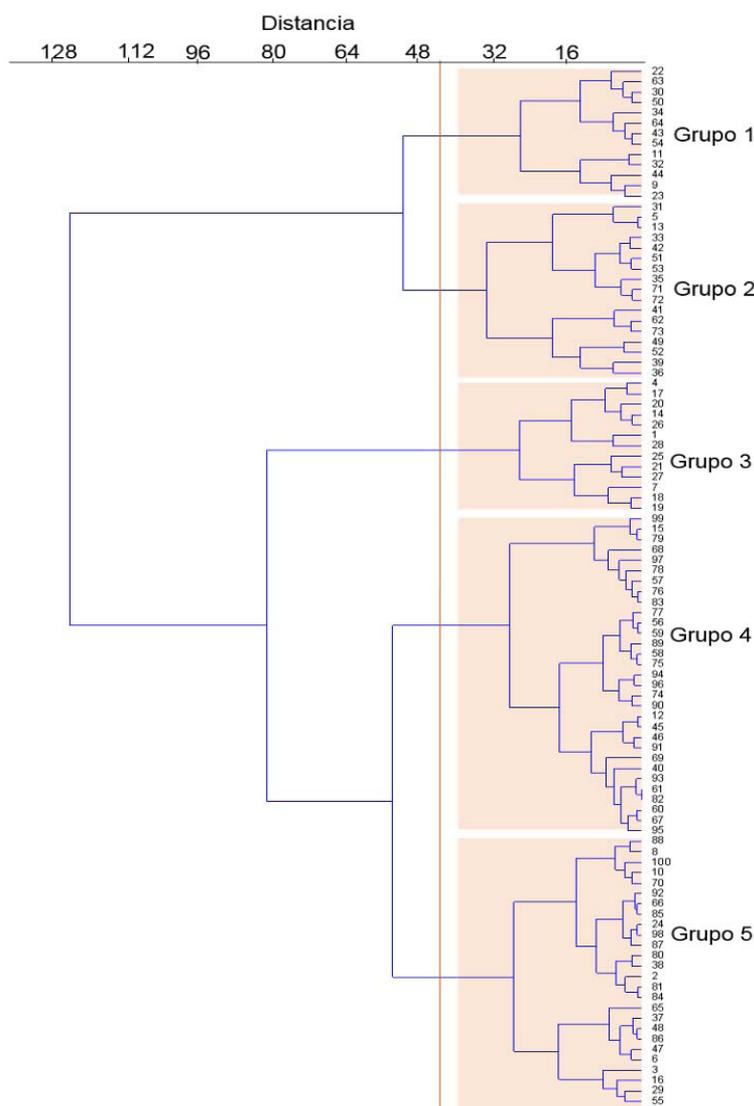


Figura 5. Clasificación de una muestra de 100 plantas de una población de *Chenopodium quinoa* Willd nativa tipo Chimborazo, a partir de cinco características morfoagronómica que más incidieron en la variabilidad fenotípica observada. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados con el algoritmo del método de Ward, 2021.

Figure 5. Classification of a sample of 100 plants from a population of native Chimborazo-type *Chenopodium quinoa* Will based on the five most influential morfoagronomic characteristics contributing to the observed phenotypic variability. Resulting dendrogram from cluster analysis using the Ward's method algorithm, 2021.

Discusión

La variabilidad observada en esta investigación para las características de las plantas y de sus órganos se correspondió con las descritas para la quinua tipo Chimborazo (Gandarillas et al., 1989; Peralta & Mazón, 2015). Entre ellas, la forma del tallo cilíndrica predominante en la población de plantas, ha sido referida como típica de

la quinua tipo Chimborazo (Tapia & Fries, 2007) y pudiera ser evidencia de poca variabilidad en este carácter. Para esta quinua, el color del tallo que predomina es rojo (Basantes Morales, 2015); sin embargo, en este estudio el mayor porcentaje de las plantas tuvo tallos de color amarillo (43 %). Este resultado abre interrogantes sobre la posible influencia del criterio de selección familiar de las plantas para obtener semillas.

Con respecto a la forma de la panoja, en la quinua tipo Chimborazo, la inflorescencia glomerulada es dominante sobre amarantiforme (Gandarillas et al., 1989). Debido al origen de la semilla, en esta población, el porcentaje de panojas con la forma amarantiforme fue superior con una frecuencia del 76 %, ya que debe contener mezclas de variedades como resultado de la costumbre en los agricultores andinos de unir las en un mismo ciclo (Stanschewski et al., 2021) y también por las prácticas de cultivo. La forma, tamaño y compactación de las inflorescencias están relacionadas con la maduración y el ciclo de cosecha (Bazile et al., 2016). El predominio del color verde de las panojas a floración es una característica común observada en otro estudio con cultivares de diferentes países (EL-Harty et al., 2021).

La presencia de saponina en el grano de la planta de quinua, le proporciona un sabor amargo y se han señalado como factores antinutricionales (Pathan & Siddiqui, 2022). Aunque en la literatura científica se indican porcentajes de saponinas que permiten clasificar a las accesiones o individuos en dulces o amargos (Koziol, 1992), en este estudio solo se tuvo en cuenta el criterio de Bioversity International et al. (2013) contenido en el descriptor 8.11 efluencia de saponinas, que se clasifica en 0 Nada, 3 Poca, 5 Regular y 7 Mucha, a partir de observar la espuma producida en tubos de ensayo luego de agitar 0,5 g de muestra en 5,0 mL de agua destilada. En el ciclo de cultivo de la quinua y su procesamiento para el uso en la alimentación humana se generan residuales de la trilla, la escarificación y el lavado del grano que pueden contaminar el medioambiente si no se gestionan de forma adecuada.

En el análisis de correspondencias múltiples las variables color de las estrías y color del tallo se destacaron como las características morfológicas que más incidieron en la variabilidad. La coloración de las estrías, axilas, panojas y semillas, muestran una amplia variabilidad en esta especie (Manjarres-Hernández et al., 2021). El color del tallo también se encontró entre las cuatro variables más discriminantes para diferenciar accesiones colectadas en Ecuador en un estudio realizado por Delgado Pilla et al. (2019).

En el análisis de las variables cuantitativas los coeficientes de variación más elevados se asociaron a las panojas (diámetro y longitud), la hoja (ancho y longitud del peciolo), la altura de la planta y el rendimiento. En el trabajo realizado por Morillo-Coronado et al. (2020) los coeficientes de variación en la altura de la planta (29,84 %), el diámetro de la panoja (17,84 %) y el rendimiento (57,04 %), también fueron los mayores entre las variables cuantitativas empleadas para la caracterización de diecinueve materiales de quinua en el departamento Boyacá, Colombia.

La altura media de las plantas superó los 2 m y se correspondió con el ecotipo Valle que es de porte alto (Gandarillas et al., 1989; Mujica et al., 2001). Sin embargo, para un grupo de accesiones de quinua colectadas en diferentes regiones en Ecuador entre 1980 y 1990, se obtuvieron valores medios inferiores de 152,1 cm, y de 176,6 cm para un grupo de accesiones colectadas en 2014 y 2015 (Delgado Pilla et al., 2019). Estos caracteres son afectados por las condiciones ambientales y de cultivo, por ejemplo, Mujica (2004) mostraron que la altura de la planta dependía del tipo de quinua, así como de las condiciones ambientales en las que crecía.

Los días a la cosecha y la longitud y diámetro de las panojas fueron las variables cuantitativas que más incidieron en la variabilidad de acuerdo con el análisis de componentes principales. La heterogeneidad en cuanto a los días a la cosecha es un elemento que dificulta esta labor (Monteros Guerrero, 2016) y puede incidir en el rendimiento si se realiza de una sola vez como es práctica habitual. La quinua tipo Chimborazo que pertenece al ecotipo Valle se caracteriza por una maduración tardía (Nieto et al., 1988). La variabilidad en características morfológicas cuantitativas entre accesiones de quinua colectadas en distintas localidades de las provincias de Chimborazo y Tungurahua fue informada por Sánchez Vasco (2020), lo que guarda relación con los resultados de este trabajo.

Los valores de rendimiento por planta obtenidos en este estudio, comparados con otros referidos en la literatura científica para la especie, se podrían considerar bajos. En ello pudo influir la heterogeneidad de la madurez de las

plantas en el momento de la cosecha, la influencia de condiciones ambientales, de cultivo y la incidencia de mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum) con una severidad elevada en las plantas evaluadas. Esta es la enfermedad de mayor importancia económica para la quinua en Ecuador y se trasmite a través de la semilla (Hinojosa et al., 2021). Otros autores informan rendimientos más elevados, por ejemplo, entre 0,99 g y 16,81 g por planta en tres cultivares de quinua (Vergara et al., 2020) y entre 12,28 g y 87,53 g en treinta accesiones de quinua (Manjarres-Hernández et al., 2021).

El análisis de agrupamiento, clasificó a los individuos de la población analizados (100) en dos grupos que se subdividieron en cinco subgrupos. Esta clasificación podría atender a la variabilidad fenotípica observada. Diferentes autores han referido que la variabilidad observada en caracteres morfológicos de plantas de quinua está influenciada por el genotipo, cruces intra o interespecies, las condiciones agroclimáticas de origen y cultivo (Sánchez Vasco, 2020). En las inflorescencias se ha observado abundante presencia de insectos, que pudieran ser polinizadores. Se calcula una polinización cruzada de alrededor del 17 % (Gómez Pando & Aguilar Castellanos, 2016), por lo cual se detectan variaciones en muchos caracteres. La presencia de granos amargos en variedades dulces y viceversa, Mamani et al. (2022) la atribuyeron a la polinización cruzada.

Este trabajo informa por primera vez la variabilidad fenotípica presente en una población de plantas de quinua nativa tipo Chimborazo originada de semillas preservadas por generaciones de una familia de agricultores andinos. Los resultados corroboraron afirmaciones previas de que los cultivos andinos de quinua muestran variabilidad fenotípica en numerosos caracteres morfoagronómicos dentro de las poblaciones (Morillo et al., 2020), dadas por variaciones inter individuos, asociadas a mezclas de semillas de diferente origen (Stanschewski et al., 2021) en el proceso de conservación familiar. Es una práctica común en las comunidades andinas que las familias seleccionen y conserven su propia semilla, como refiere el estudio sobre variación de la agrobiodiversidad en variedades tradicionales de quinua en Ecuador (Delgado Pilla et al., 2019), que constató que el 69 % de los agricultores encuestados usan las semillas que están disponibles en el entorno familiar y el 11 % las obtiene a través de intercambio con vecinos.

Los resultados de esta investigación sobre la caracterización morfoagronómica de una población de plantas de quinua nativa tipo Chimborazo, originada de semillas conservadas a través de ciclos continuos de producción por generaciones de una familia, confirmaron que los agricultores de Chimborazo juegan un papel importante en la selección y preservación de la diversidad de quinua nativa. En Ecuador, la conservación de los cultivos andinos se sostiene en las comunidades indígenas y se requiere reforzar la capacidad de los agricultores y de las organizaciones locales para incrementar la conservación de estos valiosos recursos fitogenéticos (Delgado Pilla et al., 2019).

La caracterización del germoplasma nativo de quinua en Ecuador, sustento de las familias a través del cultivo orgánico, reviste gran importancia para el desarrollo de estrategias económicas, de conservación y sostenibilidad de la producción. Mediante la agricultura familiar se ha preservado la agrobiodiversidad en el cultivo de la quinua, los conocimientos tradicionales sobre técnicas de cultivo, la producción de semillas y su conservación. De esta variabilidad genética también pueden beneficiarse los programas de mejoramiento genético en la búsqueda de mayor productividad y resistencia a los estreses bióticos y abióticos necesarios para la adaptación de la quinua a un entorno desafiante de cambio climático (Fuentes et al., 2009; Lozano-Isla et al., 2023; Peralta et al., 2015). Los resultados de este estudio son consistentes con las prácticas de los agricultores andinos de conservación de las semillas como patrimonio durante generaciones familiares, la cual debe ser preservada en aras de contribuir con la biodiversidad, el mejoramiento genético y el uso sostenible de este cultivo ancestral para la seguridad alimentaria de la población.

Conclusiones

La población de plantas de quinua nativa tipo Chimborazo evaluada a través de 100 individuos, mostró variabilidad fenotípica tanto en características cuantitativas como cualitativas, estas se presentan con mayor

frecuencia en el diámetro de la panoja, la longitud de la panoja, la longitud del peciolo, la altura de la planta, el ancho de la hoja, el rendimiento, el color del tallo y el color de las estrías.

Referencias

- Alandia, G., Rodríguez, J. P., Jacobsen, S. -E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, Article 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- Allende Ciballero, M. J. (2017). *Caracterización morfológica y molecular de accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) para estimar variabilidad genética* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2935>
- Basantes Morales, E. R. (2015). *Manual de cultivos andinos del Ecuador*. Universidad de las Fuerzas Armadas. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10163>
- Bazile, D., Jacobsen, S. -E., & Verniau, A. (2016). The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>
- Bioversity International, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, & Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. (2013). *Descriptor para quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*. Bioversity International. <https://hdl.handle.net/10568/72610>
- Delgado Pilla, H., Tapia, C., Naranjo, E., Borja, E., & Martín Clemente, J. P. (2019). Variación de la agrobiodiversidad en variedades tradicionales de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) de la Región Andina de Ecuador. En Ministerio de Agricultura, Instituto de Desarrollo Agropecuario, Pontificia Universidad Católica de Chile, & Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Eds.), *Libro de Resúmenes. VII Congreso Mundial de la Quinua y Otros Granos Andinos, Chile 2019* (p. 41). Ministerio de Agricultura, Instituto de Desarrollo Agropecuario, Pontificia Universidad Católica de Chile, & Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Repositorio Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5572>
- EL-Harty, E. H., Ghazy, A., Alateeq, T. K., Al-Faifi, S. A., Khan, M. A., Afzal, M., Alghamdi, S. S., & Migdadi, H. M. (2021). Morphological and molecular characterization of quinoa genotypes. *Agriculture*, 11(4), Article 286. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040286>
- Fuentes, F. F., Maughan, P. J., & Jellen, E. R. (2009). Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Geográfica de Valparaíso*, 42, 20–33. https://www.pucv.cl/uuaa/site/docs/20180316/20180316172222/42_3.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, & Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. (2015). *State of the art report on quinoa around the world in 2013*. <https://www.fao.org/3/i4042e/i4042e.pdf>
- Franco, T. L., & Hidalgo, R. (Eds.). (2003). *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos* (Boletín Técnico no. 8). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. <https://hdl.handle.net/10568/104374>
- Gandarillas, H., Nieto, C., & Castillo, R. (1989). *Razas de quinua en Ecuador* (Boletín Técnico no. 67). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/438>

- Gómez Pando, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Electronica*, 4(1), Article 4. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Hinojosa, L., Leguizamo, A., Carpio, C., Muñoz, D., Mestanza, C., Ochoa, J., Castillo, C., Murillo, A., Villacréz, E., Monar, C., Pichazaca, N., & Murphy, K. (2021). Quinoa in Ecuador: Recent advances under global expansion. *Plants*, 10(2), Article 298. <https://doi.org/10.3390/plants10020298>
- Kozioł, M. J. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(1), 35–68. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90006-6)
- Infante, H., Albesiano, S., Arrieta, L., & Gómez, N. (2018). Morphological characterization of varieties of *Chenopodium quinoa* cultivated in the department of Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 329–339. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.977>
- Jacobsen, S. E., & Sherwood, S. (2002). *Cultivo de granos andinos en Ecuador. Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto*. Editorial Abya Yala.
- Lozano-Isla, F., Apaza, J. -D., Mujica Sanchez, A., Blas Sevillano, R., Haussmann, B. I. G., & Schmid, K. (2023). Enhancing quinoa cultivation in the Andean highlands of Peru: a breeding strategy for improved yield and early maturity adaptation to climate change using traditional cultivars. *Euphytica*, 219, Article 26. <https://doi.org/10.1007/s10681-023-03155-8>
- Mahdavi Rad, S., Yousefi Rad, M., & Sharif Moghadasi, M. (2022). Physiological and morphological characteristics of drought-stressed *Chenopodium quinoa* Willd, as affected by proline and ascorbic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(11), 1402–1410. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2046036>
- Mamani, E. R., Bonifacio, A., Taboada, G. C., & Angulo, F. R. (2022). Determinación de la pureza y calidad de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) dulce y amarga de variedades comerciales, en Viacha - La Paz. *CIBUM SCIENTIA*, 1(1), 7–15. <https://doi.org/10.53287/qdjk7329or48t>
- Manjarres-Hernández, E. H., Arias-Moreno, D. M., Morillo-Coronado, A. C., Ojeda-Pérez, Z. Z., & Cárdenas-Chaparro, A. (2021). Phenotypic characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for the selection of promising materials for breeding programs. *Plants*, 10(7), Article 1339. <https://doi.org/10.3390/plants10071339>
- Mazón, N., Rivera, M., Peralta, E., Estrella, J., & Tapia, C. (2001). *Catálogo del banco de germoplasma de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) de INIAP-Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2810>
- Mina Chala, D. F., Peralta, E., Murillo, Á., Mazón, N., & Andrade, H. (2012). *Evaluación agronómica de 14 líneas F5 de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), Alaquez (Cotopaxi) y Cutuglagua (Pichincha), 2013*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/996>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). *Informe de rendimientos objetivos quinua 2019*. http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/quinua/rendimientos_objetivos_quinua_2019.pdf
- Monteros Guerrero, A. (2016). *Rendimientos de quinua en el Ecuador 2016 (octubre 2015 - agosto 2016)*. Coordinación General del Sistema de Información Nacional.

- Morillo, A. C., Manjarres, E. H., Lorena, W., & Morillo, Y. (2020). Intrapopulation phenotypic variation in Piartal (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the Department of Boyacá, Colombia. *African Journal of Agricultural Research*, 16(8), 1195–1203. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14916>
- Morillo-Coronado, A. C., Manjarres-Hernández, E. H., & Morillo-Coronado, N. Y. (2020). Evaluación morfoagronómica de 19 materiales de *Chenopodium quinoa* en el departamento de Boyacá. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(1), 84–96. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1416>
- Morillo-Coronado, A. C., Manjarres-Hernández, E. H., Reyes-Ardila, W. L., & Morillo-Coronado, Y. (2022). Phenotypic intrapopulation variation in quinoa from the department of Boyacá, Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1), Article e1579. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.1579>
- Mujica, M. A. (2004). La quinua Indígena, características e historia. En C. Zúñiga (Ed.), *La Kinwa Mapuche: Recuperación de un cultivo para la alimentación* (pp. 21–42). Fundación para la Innovación Agraria, Centro de Educación y Tecnología, & Centro de Educación y Tecnología para el Desarrollo del Sur. <https://cetsur.org/wp-content/uploads/2016/09/La-kinwa-mapuche.pdf>
- Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., & Marathe, P. (Eds.). (2001). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.); Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Murphy, K. M., Bazile, D., Kellogg, J., & Rahmanian, M. (2016). Development of a Worldwide Consortium on Evolutionary Participatory Breeding in Quinoa. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 608. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00608>
- Nieto, C., Peralta, E., & Castillo, R. (1986). *INIAP-Imbaya* e “*INIAP-Cochasqui*”: *Primeras variedades de quinua para la Sierra ecuatoriana* (Boletín Divulgativo no. 187). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/259>
- Nieto, C., Peralta, I., E., & Castillo, R. (1988). La recuperación de los cultivos nativos y su tecnología tradicional en la Sierra ecuatoriana. En Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Ed.), *Memorias del VI Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos* (pp. 391–400). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3559>
- Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 415–427. <https://doi.org/10.15517/am.v22i2.8746>
- Ochoa, J., & Peralta, E. (1988). Evaluación preliminar morfológica y agronómica de 153 entradas de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en Santa Catalina. En Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Ed.), *Memorias del VI Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos* (pp. 137–142). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3536>
- Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. *Nutrients*, 14(3), Article 558. <https://doi.org/10.3390/nu14030558>
- Peralta, E. (2009). *La quinua en Ecuador. “Estado del arte”*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/805>
- Peralta, E., & Mazón, N. (2015). Quinoa in Ecuador. In D. Brazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), *State of the art report on quinoa around the world in 2013* (pp. 462–476). Food and Agriculture Organization of the United Nations, & Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4536>

- Peralta, E., Murillo, A., & Mazón, N. (2015). *Línea del tiempo. Mejoramiento genético de los granos andinos en Ecuador: Quinua, chocho, amaranto y ataco* (Publicación miscelánea No. 420). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, & Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2726>
- Salazar, J., Torres, M. de L., Gutierrez, B., & Torres, A. F. (2019). Molecular characterization of Ecuadorian quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) diversity: implications for conservation and breeding. *Euphytica*, 215, Article 60. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2371-z>
- Sánchez Vasco, S. S. (2020). *Caracterización genotípica por RAPDs y morfométrica de diferentes accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd) de la zona centro del Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31194>
- Stanschewski, C. S., Rey, E., Fiene, G., Craine, E. B., Wellman, G., Melino, V. J., Patiranage, D. S. R., Johansen, K., Schmöckel, S. M., Bertero, D., Oakey, H., Colque-Little, C., Afzal, I., Raubach, S., Miller, N., Streich, J., Buchvaldt Amby, D., Emrani, N., Warmington, M., ... Tester, M. (2021). Quinoa Phenotyping Methodologies: An International Consensus. *Plants*, 10(9), Article 1759. <https://doi.org/10.3390/plants10091759>
- Tapia, C., Peralta, E., & Mazón, N. (2014). Colecciones núcleo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del Banco de Germoplasma del INIAP, Ecuador. *Axioma*, 2(13), 5–9. <http://190.15.137.82/index.php/axioma/article/view/426>
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de Campo de los cultivos Andinos*. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Asociación Nacional de Productores del Perú. <https://www.fao.org/3/ai185s/ai185s.pdf>
- Torres, J., Vargas, H., Corredor, G., & Reyes, L. M. (2000). Caracterización morfo agronómica de diecinueve cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 17(1–3), 61–68. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21547>
- Urdanegui, P., Pérez-Ávila, Á., Estrada-Zúñiga, R., Neyra, E., Mujica, Á., & Corredor, F. -A. (2021). Rendimiento y evaluación agromorfológica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Huancayo, Perú. *Agroindustrial Science*, 11(1), 63–71. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.08>
- Vergara, R. O., Martins, A. B. N., Soares, V. N., Carvalho, I. R., Barbosa, M. H., Conte, G. G., Gadotti, G. I., Ludtke, R., & Villela, F. A. (2020). Agronomic and morphological characteristics of quinoa grown in the southern region of Rio Grande do Sul State. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, 8(1), 18–25. <https://revistas.ufpel.edu.br/index.php/rbes/article/view/235>
- Vía, P., & Fernández, R. (2015). *Determinación de la Diversidad Genética de 172 accesiones de la colección nacional de Chenopodium quinoa Willd. "QUINUA" mediante marcadores microsátélites* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio de la Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/926>