

Evaluación morfoagronómica de 19 materiales de *Chenopodium quinoa* en el Departamento de Boyacá

Morphoagronomic evaluation of 19 of *Chenopodium quinoa* materials in the Boyacá Department

Avaliação morfo-econômica de 19 materiais de *quinoa* *Chenopodium* no Departamento de Boyacá

ANA CRUZ MORILLO-CORONADO¹, ELSA HELENA MANJARRES-HERNÁNDEZ²,
YACENIA MORILLO-CORONADO³

Historial del Artículo

Recibido para evaluación: 23 de Julio 2019.

Aprobado para publicación: 18 de noviembre 2019

- 1 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Ciencias Agropecuarias, Grupo Competitividad, Innovación y Desarrollo Empresarial (CIDE). PhD. Ciencias Agropecuarias, énfasis Fitomejoramiento. Tunja, Colombia.
- 2 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias, Grupo Competitividad, Innovación y Desarrollo Empresarial (CIDE). Estudiante de Doctorado en Ciencias Biológicas y Ambientales (UPTC). Tunja, Colombia.
- 3 Universidad de Caldas, Grupo de Investigación en Producción Agropecuaria (GIPA). PhD. Ciencias Agropecuarias, énfasis Fitomejoramiento. Manizales, Colombia.

Correspondencia: email: ana.morillo@uptc.edu.co

Cómo citar este artículo: ANA CRUZ MORILLO-CORONADO, ELSA HELENA MANJARRES-HERNÁNDEZ, YACENIA MORILLO-CORONADO. (2019). Evaluación morfoagronómica de 19 materiales de *Chenopodium quinoa* en el Departamento de Boyacá. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 18(1). 84-96, DOI:<http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1416>

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) es un cultivo de grano que se cultiva en la región de los Andes desde los valles centrales de Colombia hasta la zona sur de Chile. En Colombia, es un cultivo de pequeña escala, donde el conocimiento de su variabilidad es reducido. Dentro de este contexto, esta investigación tuvo como objetivo principal realizar una caracterización morfológica a 19 materiales de quinua en el departamento de Boyacá utilizando 27 descriptores morfológicos. La estimación de la variación morfológica se hizo mediante el análisis de correlación, componentes principales y conglomerados. Los resultados muestran que los coeficientes de variación más altos se encontraron en los caracteres cuantitativos. Los análisis de componentes principales explicaron más del 70% de la variación observada siendo las características presencia y color de axilas, presencia y color de estrías, altura de la planta, número de panojas, rendimiento de semillas por planta y peso de 1000 granos. Los conglomerados mostraron una distribución laxa de todos los individuos evaluados con rendimientos y peso de grano promedios, y la relación entre la quinua y la especie relacionada kiwicha. La caracterización morfológica de estos materiales pone de manifiesto la existencia de variabilidad que puede ser utilizada en programas de conservación y mejoramiento genético de la especie en el departamento de Boyacá.

SUMMARY

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) is a grain crop grown in the Andes region from the central valleys of Colombia to southern Chile. In Colombia, it is a small-scale farming, where knowledge of their variability is reduced. Within this context, this research had as main objective to perform a morphological characterization of 18 quinoa materials in the department of Boyacá using 27 morphological descriptors. The morphological variation was estimated using the correlation, main components and clusters analyzes. The results show that the highest coefficients of variation were found in the quantitative characters. The analysis of principal components explained more than 70% of the observed variation being the characteristics presence and color of armpits, presence and color of striae, height of the plant, and number of panicles, yield of seeds per plant and weight of 1000 grains. The conglomerates showed a loose distribution of all the individuals evaluated with average yields and grain weight, and the relationship between the quinoa and the related species kiwicha. The morphological characterization of these materials shows the existence of variability that can be used in programs of conservation and genetic improvement of the species in the department of Boyacá.

RESUMO

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) É uma cultura de grãos que é cultivada na região dos Andes desde os vales centrais da Colômbia até a parte sul do Chile. Na Colômbia, é uma cultura de pequena escala, onde o conhecimento de sua variabilidade é reduzido. Dentro deste contexto, esta pesquisa teve como objetivo principal realizar uma caracterização morfológica de 18 materiais de qui-

PALABRAS CLAVE:

Cultivo andino, Descriptor, Variabilidad fenotípica.

KEY WORDS:

Andean crop, Descriptor, Phenotypic variability.

PALAVRAS-CHAVE:

Cultivo andino, Descriptor, Variabilidade fenotípica.

noa no departamento de Boyacá, para o qual foram avaliados 27 descritores morfológicos. Os descritores mais discriminantes foram identificados por meio de análises de correlação, componentes principais e conglomerados. Os resultados mostram que os maiores coeficientes de variação foram encontrados nos caracteres quantitativos. As análises dos componentes principais explicaram mais de 70% da variação observada, sendo as características presença e cor das axilas, presença e cor das estrias, altura de planta, número de panículas, produção de sementes por planta e peso de 1000 grãos. Os conglomerados mostraram uma distribuição frouxa de todos os indivíduos avaliados com rendimentos médios de grãos e peso, e a relação entre a quinua e as espécies relacionadas com kiwicha. A caracterização morfológica desses materiais mostra a existência de variabilidade que pode ser utilizada em programas de conservação e melhoramento genético das espécies no departamento de Boyacá.

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) es un cultivo andino, ancestral, con alto valor nutricional y con una amplia adaptación a ambientes extremos [1,2]; se cultiva en la región de los Andes desde los 5° de latitud norte en el sur de Colombia hasta 43° de latitud sur, con rangos de distribución altitudinal desde el nivel del mar hasta 4.000 msnm [3]. Debido a sus procesos de coevolución y diversificación en términos de sus hábitats nativos, la quinua se caracteriza por presentar resistencia a factores ambientales bióticos y abióticos [4,5]. Sus semillas son ricas en minerales (Ca, P, Mg, Fe y Zn), vitaminas (B1, B9, C y E), aceite (que contiene grandes cantidades de linoleato, linolenato y antioxidantes naturales) y proteínas (que contiene amplias cantidades de aminoácidos esenciales, como lisina y metionina) [6,7]. Debido a su potencial nutricional y al alto nivel de adaptabilidad en ambientes marginales, la quinua se introdujo en varias áreas fuera de su centro de origen como cultivo comercial no convencional, con estudios que demuestran una adaptación aceptable a diferentes ambientes [8].

El conocimiento de la variabilidad genética juega un papel esencial en el mejoramiento genético de las especies vegetales, es así que actualmente la identificación de caracteres morfológicos, bioquímicos y moleculares permiten discriminar genotipos, determinar usos potenciales, formar colecciones núcleo, identificar duplicados en colecciones, así como tam-

bién intercambiar datos y promover su utilización en programas de conservación y mejoramiento genético [9]. De esta forma, los recursos genéticos conservados se encuentran disponibles para ser utilizados; a nivel mundial existen 16422 accesiones de quinua y sus parientes silvestres se conservan en 59 bancos de semillas de 30 países. Los bancos de semilla de la región andina conservan más del 88% de la variabilidad genética del cultivo [9]. El conocimiento de la variabilidad genética juega un papel esencial en su mejora y existen diferentes formas para su evaluación. Durante años se utilizó como descriptores a los rasgos morfológicos para cuantificar la variabilidad genética de la especie. La principal limitación es que el ambiente puede afectar la expresión del fenotipo. Pese a ello, es importante considerarlos para poder ver el comportamiento en campo de la variabilidad.

Desde siempre, las diferentes especies vegetales han estado sometidas a una activa interacción con el ambiente, lo cual ha generado un gran número de genotipos adaptados a diferentes condiciones locales, ampliando la diversidad genética. Sin embargo, el conocimiento de la organización genética y la relación existente entre el material disponible es escaso, lo que restringe su utilización en fitomejoramiento. Incluso dentro de estos genotipos considerados diferentes, resultan ser duplicaciones del mismo material, lo que conlleva a una sobreestimación de la diversidad existente. Los recursos genéticos representan la fuente biológica para desarrollar cultivos más productivos, resistentes a factores bióticos y abióticos y de mejor calidad.

En Colombia, la quinua, en la última década ha tenido un reconocimiento importante por parte de organizaciones gubernamentales a nivel nacional e internacional, promoviendo acciones dirigidas a replantarla y conformando su cadena productiva [10]. Es un cultivo de pequeña escala, donde la combinación indiscriminada de variedades, junto con un bajo nivel de tecnología, reduce su calidad y rentabilidad [11]. Debido a la falta de cultivos con una sola variedad, surgen problemas tecnológicos como la heterogeneidad en las características morfológicas y los tiempos de maduración de los individuos [12].

En el país existe información sobre la caracterización morfoagronómica de las variedades de quinua cultivadas en la sabana de Bogotá y en Nariño, en donde se evaluó la altura de los individuos, la longitud de la inflorescencia, el peso de la semilla, entre otros [11,13,14].

Sin embargo, en Boyacá son escasos los estudios en los que se evalúen las características morfológicas de las variedades cultivadas. Se tiene un estudio de caracterización morfológica de variedades de quinua (*C. quinoa*) cultivadas en el departamento de Boyacá, determinando parámetros fisiológicos en la etapa reproductiva y vegetativa y tomando diferentes variables en las distintas etapas de desarrollo de las plantas [15]. A través de dichas observaciones logró establecer una clave taxonómica para la identificación de variedades. Sin embargo, se pone de manifiesto que el problema de los agricultores es la falta de material de siembra certificado, ya que actualmente siembran es una mezcla de variedades que afectan la calidad y el rendimiento de los productos derivados y, por lo tanto, su comercialización. Por lo tanto, es necesario realizar estudios que permitan una correcta selección del material, con miras a mejorar el proceso de producción. Tanto en quinua como en otras especies, el mantenimiento de una amplia variabilidad y diversidad genética tiene un alto impacto sobre el rendimiento y la estabilidad del comportamiento para determinar líneas promisorias con atributos de interés. Dentro de este contexto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue realizar la caracterización de morfológica de genotipos que hacen parte de la colección de materiales de quinua de la Gobernación de Boyacá con miras a la identificación de materiales élite que suplan las necesidades del agricultor, consumidor y productor.

MÉTODO

Material vegetal

Para este estudio se utilizaron 19 materiales de quinua (*C. quinoa*) pertenecientes a la colección que tiene el Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Gobernación de Boyacá, en la ciudad de Tunja ubicada

a una altura de 2.820 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 13°C (Cuadro 1).

La siembra de los materiales de quinua se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar (BCA) con cuatro repeticiones de cada tratamiento o material, donde la unidad experimental fue de 5 m por 4 m, con 4 surcos. En una superficie total de 1.500 m². La cosecha se realizó en forma manual y conforme las plantas alcanzaban la madurez fisiológica.

Caracterización morfológica

Para la caracterización morfológica se seleccionaron cuatro (4) de las plantas sembradas en campo, a las que se les evaluaron los caracteres morfoagronómicos fenotípicos (Cuadro 2) propuestos por Bioversity International (2013). Estos descriptores son considerados los más representativos a la hora de describir y discriminar germoplasma de quinua.

Análisis de la información

Con los datos obtenidos de la caracterización morfológica y agronómica se realizó un análisis multivariado usando los programas estadísticos NTSYSpc® y R versión 1.0.136. El análisis de componentes principales se realizó usando la matriz de correlaciones entre los caracteres, realizando una transformación lineal de los datos originales lo que permite generar un nuevo conjunto de variables independientes. Los componentes principales se graficaron en un plano bidimensional, para agrupar las accesiones caracterizadas. Con el paquete estadístico NTSYSpc® se realizó el análisis de conglomerados jerárquicos mediante la matriz de distancias taxonómicas medias entre caracteres cualitativos y cuantitativos y el algoritmo por agrupamiento jerárquico (UPGMA), para ello se aplica la distancia euclidiana al cuadrado y el algoritmo de enlace completo.

Cuadro 1. Sitios de procedencia de los materiales de quinua (*C. quinoa*) evaluados.

Procedencia	Cantidad	Altura	Latitud Norte	Longitud Oeste	Temperatura promedio (C°)
Chocontá (Gen 37)	1	2.655	5°8'45"	73°41'8"	13,9
Soraca (Gen48, Gen 77, Gen72, Gen 110, Gen 115, Gen 117).	7	2.799	5° 30'0"	73° 19'1"	13
Tunja (Gen 49, Gen50, Gen 52, Gen 58, Gen 61, Gen 65, GenQN y GenKW).	8	2.810	5° 31'59"	73° 22'1"	13
Tuta (Gen 68, Gen 87, Gen 116).	3	2.600	5°41'24"	73°13'35"	11

Cuadro 2. Descriptores utilizados para la caracterización morfológica de quinua (*C. quinoa*).

Cualitativas	Cuantitativas
Borde de la hoja	Longitud de la panoja [cm]
Ramificación	Diámetro de la panoja [cm]
Presencia de axilas	Número total de panojas por planta
Color de las axilas	Altura de la planta [cm]
Presencia de dientes en las hojas	Número de ramas secundarias
Hábito de crecimiento	Número de dientes por hoja
Presencia de estrías	Diámetro del grano [mm]
Color de estrías	Rendimiento de semilla por planta [g]
Forma del tallo	Peso de 1000 granos [g]
Forma de la panoja	
Color panoja en floración	
Color panoja en madurez	
Densidad de panoja	
Color del tallo	
Color hoja basal	
Forma de la hoja	
Presencia de saponina	
Eflusión de saponina	

RESULTADOS

Caracteres cualitativos

De acuerdo con el análisis de frecuencias, se pudo observar que los materiales evaluados presentan las categorías fenotípicas reportadas en estudios anteriores, siendo la característica más variable color de la panoja, que se evaluó dos veces durante el ciclo fenológico, la primera en floración, en donde el 83% de las plantas presentaron una panoja de color verde y el 17% color púrpura; en la etapa de madurez fisiológica se observó segregación en la característica presentándose plantas con panojas de color blanco 17%, púrpura 61%, rojo 11%, rosado 6% y Mixto (rojo y rosado) 6% ya que se menciona la quinua sufre cambios morfológicos constantes durante su maduración [23].

Los valores de la estadística descriptiva se presentan en el cuadro 3, en donde se puede observar que los valores promedio para las características cualitativas estuvieron entre 0,83 para el carácter presencia de saponina y 5,22 para el color del tallo. En cuanto al coeficiente de variación, se pudo observar que las características más variables fueron la presencia de dientes en la hoja (82%), seguido por la eflusión de saponinas y la pre-

sencia y el color de estrías. En cuanto a los caracteres cuantitativos se obtuvieron valores de coeficiente de variación mayores a los encontrados en los caracteres cualitativos, presentando el valor más bajo el diámetro del grano y el más alto el número de dientes en la hoja (80%), seguido por el rendimiento de semillas por planta (57%) y el número de panojas (39%) (Cuadro 3).

La amplia variabilidad en los rasgos morfológicos es debida, entre otras causas, a que los agricultores de los Andes mantienen mezclas de diversas variedades en un cultivo, como una estrategia contra el ataque de plagas y patógenos [16]. Por lo tanto, entender los procesos evolutivos que determinan la diversidad genética de una especie cultivada permitirá manejarla, protegerla y utilizarla de una manera óptima [17].

En la matriz de correlación entre cada par de variables (Cuadro 4) se muestra que 11 coeficientes fueron altamente significativos ($P \leq 0,01$). Entre las características asociadas a la arquitectura de la planta se observaron correlaciones altas y significativas para altura de la planta y el rendimiento de semillas por planta y el diámetro de grano ($r = 0,68$ y $r = 0,80$, respectivamente). También se presentaron correlaciones positivas y significativas entre las variables diámetro de panoja y longitud de panoja ($r = 0,88$); altura de la planta con longitud de la panoja ($r = 0,91$), rendimiento de semillas por planta con número de panojas y diámetro del grano con peso de 1000 granos ($r = 0,69$).

Los estudios de correlación se consideran un paso importante en los programas de mejoramiento de la quinua, ya que la información obtenida es útil para estimar la respuesta correlacionada a la selección direccional para la formulación de los índices de selección. Los informes sobre variabilidad y asociación entre diferentes características en la quinua son raros, se basan en pocos componentes de rendimiento y en experimentos realizados en Europa y América [18]. La longitud de la inflorescencia fue el componente más importante que influyó en el rendimiento del grano en la quinua [19]. Como en este estudio se ha reportado una fuerte correlación entre la altura de la planta, el diámetro del tallo, la longitud de la inflorescencia y el diámetro de la inflorescencia entre sí [20]. Sin embargo, las asociaciones entre las duraciones de las fases de desarrollo fueron débiles, lo que sugiere que existe un gran margen para la manipulación del patrón de desarrollo a través del mejoramiento. En otros estudios se calcularon los coeficientes de co-

relación entre varias características y sus efectos directos e indirectos sobre el rendimiento del grano en quinua cultivada en suelos normales y sódicos [21].

El diámetro del tallo y el peso seco/planta se correlacionaron positivamente con el rendimiento de grano en ambos tipos de suelo. Se concluyó que la selección de plantas de tallos gruesos con un mayor número de inflorescencias y un alto peso seco sería beneficiosa en la reproducción para un alto rendimiento de grano en la quinua en suelos sódicos. Una asociación positiva fue reportada para la longitud de inflorescencia y diámetro con rendimiento de grano, lo cual muestra que la selección para esos caracteres puede resultar en genotipos más productivos [20].

Como se pudo observar en algunos materiales de quinua evaluados en estudios realizados [19], también se observó una correlación positiva entre la altura de la planta y la longitud de la inflorescencia que se puede alcanzar un alto rendimiento de grano seleccionando la relación tallo/inflorescencia. También se ha encontrado una relación positiva entre el rendimiento y el número de granos en quinua, mientras que el peso del grano ha mostrado un comportamiento conservador [18]. En un estudio más detallado, las interrelaciones entre el rendimiento y los componentes del rendimiento fueron determinados en 27 líneas de germoplasma de quinua [21]. La correlación significativa entre las ramas/planta, la longitud de la inflorescencia y la inflorescencia/planta señaló que las plantas con buen hábito de ramificación tienden a

Cuadro 3. Estadística descriptiva para los descriptores utilizados en quinua (*C. quinoa*).

Variable	Media	D.E	CV
Borde la hoja	2,33	0,69	29,40
Ramificación	0,94	0,24	24,96
Presencia axilas pigmentadas	0,39	0,50	12,90
Color axilas	1,56	2,01	12,99
Presencia dientes en la hoja	0,61	0,50	82,09
Hábito de crecimiento	2,94	0,24	8,00
Presencia de estrías	0,11	0,32	49,04
Color de estrías	0,44	1,29	49,04
Forma del tallo	1,22	0,43	35,00
Forma de la panoja	1,72	0,67	38,85
Color panoja floración	1,17	0,38	32,87
Color panoja madurez	2,00	0,77	38,35
Densidad panoja	2,12	0,33	15,68
Color del tallo	5,22	3,95	48,62
Color hoja basal	1,06	0,24	22,33
Forma de la hoja	1,22	0,43	35,00
Presencia de saponina	0,83	0,38	46,02
Eflusión de saponina	1,28	0,83	49,03
Longitud panoja	22,85	34,31	15,16
Diámetro panoja	8,99	1,60	17,84
Número de panojas	39,88	15,84	39,71
Altura de la planta	121,01	36,11	29,84
Número de ramas secundarias	45,71	17,37	38,01
Número de dientes hojas	7,53	6,06	80,53
Diámetro del grano	2,09	0,30	14,50
Rendimiento semillas/planta	90,00	51,34	57,04
Peso de 1000 granos	2,30	0,73	31,75

Cuadro 4. Matriz de correlación simple entre las variables cuantitativas.

Variable	Longitud panoja	Diámetro panoja	Número de panojas	Altura de la planta	Número de ramas secundarias	Número de dientes hojas	Diámetro del grano	Rto de semillas/planta	Peso de 1000 granos
Longitud panoja	1,00								
Diámetro panoja	0,88**	1,00							
Número de panojas	0,48	0,68**	1,00						
Altura de la planta	0,91**	0,78**	0,58	1,00					
Número de ramas secundarias	0,47	0,73**	0,96	0,58	1,00				
Número de dientes hojas	0,26	0,35	0,44**	0,48	0,38	1,00			
Diámetro del grano	0,03	0,33	0,64**	0,68**	0,32	0,25	1,00		
Rendimiento semillas/planta	0,01	0,41	0,76**	0,58**	0,25	0,06	0,80**	1,00	
Peso de 1000 granos	0,02	0,40	0,14	0,20	0,12	0,14	0,69**	0,34	1,00

desarrollar un gran número de inflorescencias largas. La longitud de la inflorescencia también se asoció positivamente con la altura de la planta, lo que indica que las líneas con mayor altura de la planta también desarrollaron panículas más largas, un hecho también encontrado en otro reporte [18]. En otros estudios se ha encontrado que todos los rasgos morfológicos, excepto los días de floración y los días de madurez, mostraron asociaciones positivas significativas con el rendimiento de semillas, mientras que los rasgos de calidad se correlacionaron negativamente con el rendimiento de semillas [21, 22].

Entre las correlaciones de arquitectura de plantas se observaron las correlaciones más altas significativas para la asociación entre la altura de la planta y el rendimiento por planta y diámetro de grano. También se cuantificaron correlaciones positivas y significativas entre variables fenológicas y arquitectura de planta. Las variables diámetro de grano y peso de 1000 semillas muestran una correlación alta y positiva, lo cual sugiere que hay un margen importante de variación de diámetro para un mismo peso existiendo la posibilidad de seleccionar materiales con mayor diámetro de grano sin afectar el peso y el requerimiento de carbono para obtenerlo, resultados que son similares a los reportados por [23].

Análisis de componentes principales (ACP)

El resultado obtenido en el ACP muestra que los cinco primeros componentes concentran el 77% de la variación total (Cuadro 5). El primer componente explica la mayor parte de esta variación (30%) y ordenó los materiales de acuerdo a la presencia o ausencia de axilas y color de las axilas igual a lo que se pudo observar en el componente principal 3, a diferencia de los otros dos el componente principal 2, está conformado por las variables presencia y color de estrías y en el CP4 se encuentra la variable forma del tallo.

En la figura 1 se puede observar la distribución de las variables de acuerdo a su contribución a la variación total presentada en los materiales de quinua evaluados para los dos primeros componentes, en donde las plantas con presencia de axilas y coloración en ellas, con presencia y efluencia de saponinas y con dientes y bordes en las hojas fueron ubicados a la derecha de la derecha de la gráfica, ya que estos materiales presentaron mayores valores positivos para los coeficientes de vectores propios para estas

Cuadro 5. Componentes principales y porcentaje de varianza total explicada.

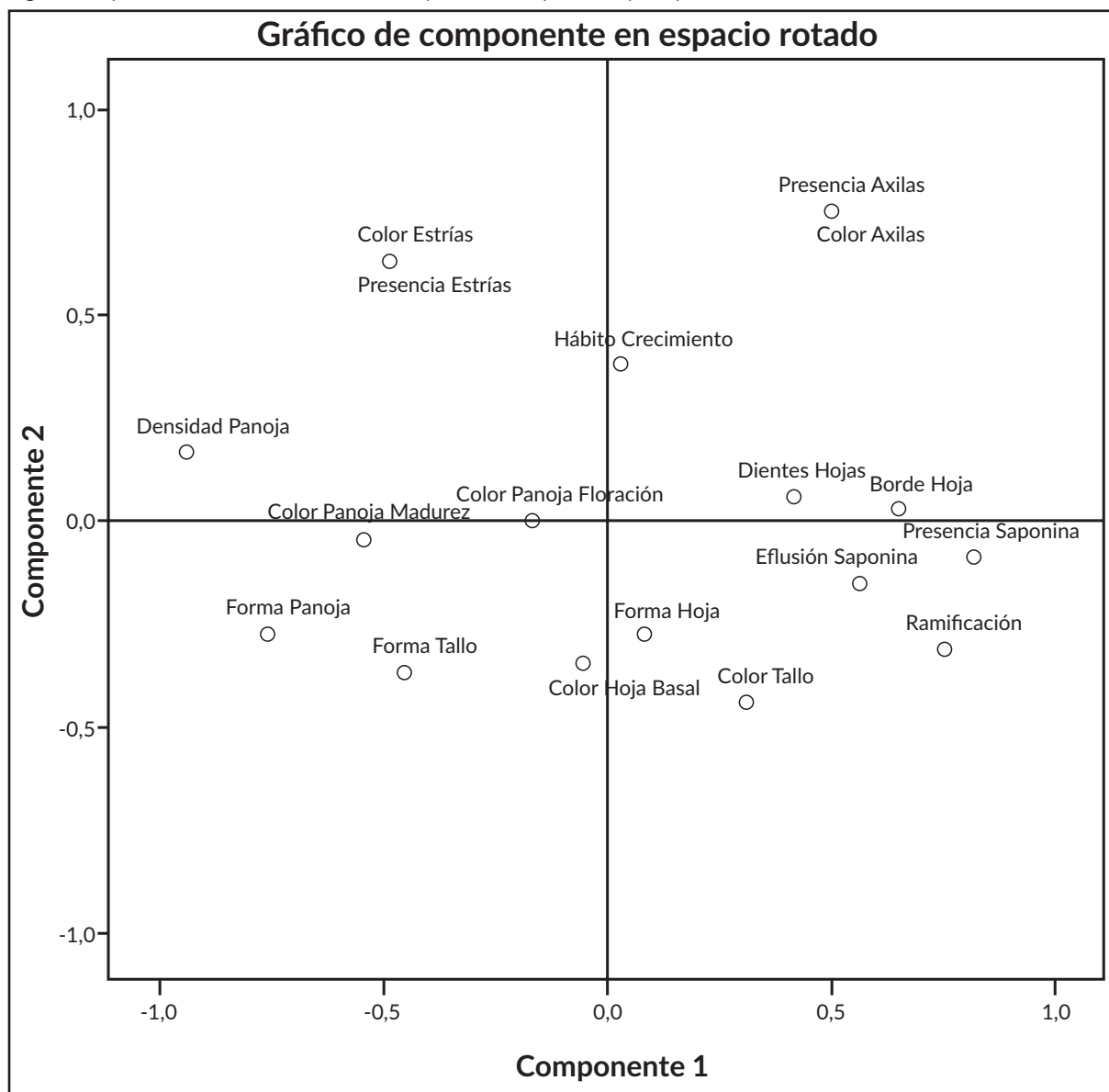
Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de varianza	% acumulado
1	5,21	28,94	28,94
2	2,82	15,66	44,60
3	2414	13,41	58,01
4	1829	10,16	68,17
5	1600	8,89	77,06
6	1,00	5,56	82,64
7	0,82	4,53	87,17
8	0,77	4,28	91,45
9	0,68	3,77	95,22
10	0,33	1,81	97,02
11	0,28	1,56	98,58
12	0,12	0,68	99,26
13	0,08	0,42	99,68
14	0,05	0,28	99,96
15	0,01	0,03	99,99
16	0,02	0,010	100
17	-1.619E-17	-8.996E-17	100
18	-1.931E-16	-1.073E-15	100

características. En el lado izquierdo se ubican aquellos materiales con valores negativos y que presentan plantas con coloración en las estrías, con panojas con coloración en floración y madurez. El CP2 explicó el 16% de la variación total y diferenció a los materiales de acuerdo a la presencia o ausencia de estrías y su coloración (Figura 1). Los coeficientes para las variables presencia y color de estrías, presencia y color de estrías, hábito de crecimiento, forma del tallo y panoja y densidad de la panoja, fueron positivos. Las variables de ramificación, borde de las hojas y el resto de las variables morfológicas fueron negativos.

Análisis de conglomerados

El dendrograma resultante del análisis cluster a una distancia euclidiana de 0,35 formó tres grupos, en el primero se agruparon siete materiales, cuatro procedentes de Soracá, dos de Tunja y uno de Chocontá, caracterizados por presentar crecimiento ramificado, axilas de color púrpura, con dientes en las hojas, forma del tallo cilíndrico, densidad de la panoja intermedia y color de la hoja basal verde (Figura 2). El 57% de los materiales mostraron un borde de la hoja dentado, la mayoría no poseen estrías solo el material 52 presentó estrías de color púrpura, en tanto que la forma de la panoja dos (Gen 57 y Gen 110) es intermedia y el res-

Figura 1. Representación dimensional de los dos primeros componentes principales.



to glomerulada. Todos los materiales mostraron color de panoja verde en el momento de la floración, excepto el material 72, procedente de Tunja que presentó un color púrpura. Un material (Gen 115) presentó una forma de la hoja triangular y los demás romboidales. Finalmente, el carácter que mostró mayor variabilidad entre los materiales que hacen parte de este grupo, fue el color de la panoja en madurez fisiológica, con tres materiales púrpura, dos rojos y uno blanco.

El grupo II es el que contiene el mayor número de materiales con distintas procedencias (Soracá, Tuta y

Tunja) que se caracterizaron por no presentar axilas ni estrías, donde el 50% de los materiales tienen borde de la hoja aserrado y el otro 50% dentado; hábito de crecimiento ramificado hasta el segundo tercio, sólo el material 77 presentó ramificación hasta el tercio inferior. El 63% de los materiales de este grupo presentan el tallo cilíndrico y 37% anguloso; todos presentan forma de la panoja intermedia excepto el material 49 con panoja glomerulada. En floración, el color de la panoja fue verde, con excepción del material 49 que fue púrpura. El carácter color de la panoja en madurez fisiológica, en comparación con el grupo anterior, fue más

estable, presentando la mayoría de los materiales un color púrpura, excepto el material 49 que fue verde, mientras que la densidad de la panoja fue intermedia. El color del tallo fue blanco para los materiales 48, 49, 68,77 y 116 y púrpura para 61, 87 y 117, respectivamente. El color de la hoja basal fue verde y su forma romboidal para seis materiales y triangular para dos.

El tercer grupo está conformado por tan solo dos materiales, el 65 de Tunja y la Kiwicha especie relacionada a la quinua, fueron los que se alejaron más de los otros materiales al presentar ambas características fenotípicas tales como: borde de la hoja entero, ausencia de axilas pigmentadas, dientes en las hojas, hábito de crecimiento ramificado hasta el segundo tercio, forma de la panoja amarantiforme, densidad de panoja compacta, color del tallo púrpura, color de la hoja basal verde y forma de la hoja romboidal. Por su parte, el material 65 presentó ramificaciones, estrías de color púrpura, ausencia de estrías, forma del tallo cilíndrico, color de la panoja en floración púrpura y madurez verde. La KW, tiene estrías púrpuras, tallo anguloso, color verde de la panoja en floración y madurez púrpura y ausencia de ramificación.

Análisis componentes principales Cuantitativos

En el cuadro 6 se pueden observar los componentes principales y el porcentaje de varianza total explicada por cada uno de ellos en donde los tres primeros componentes explican más del 70% de la variación. En el CP1 las variables que están haciendo una mayor contribución son número de ramas secundarias número de panojas y altura de la planta; en el CP2, las variables más representativas fueron el peso de 1000 granos y el diámetro del grano y en el CP3 el número de dientes por hojas y número de panojas.

En el análisis de componentes principales de todas los descriptores evaluados, tanto cualitativos como cuantitativos, la presencia y el color de axilas, presencia y efluencia de saponinas, número de panojas y ramas secundarias, rendimiento de semillas por planta y diámetro del grano, fueron los parámetros más discriminativos para diferenciar los materiales de quinua evaluados en este estudio, resultados similares a los encontrados en germoplasma de Cochabamba [23], en donde las accesiones y variedades caracterizadas mostraron amplia variabilidad genética en cuanto al color y al diámetro de la panoja y se encontraron dife-

Cuadro 6. Componentes principales y porcentaje de varianza total explicada.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,89	43,20	43,20
2	2,12	23,60	66,80
3	1,01	11,19	77,99
4	0,71	7,84	85,82
5	0,65	7,22	93,04
6	0,34	3,74	96,79
7	0,18	1,97	98,76
8	0,08	0,88	99,64
9	0,03	0,36	100,000

rencias importantes en el rendimiento de grano y duración del ciclo de cultivo. Respecto a las cantidades de saponinas contenidas en las semillas, se observó que todos los materiales la contenían, sin embargo, es necesaria su cuantificación para establecer si se tratan de quinuas dulces o amargas [24].

Los cultivares dulces, a menudo muestran una baja resistencia a las plagas, ya que las saponinas ejercen una fuerte actividad insecticida o protectora contra una amplia variedad de insectos, herbívoros e incluso infecciones microbianas [24]. Además, las propiedades nutricionales especialmente los altos contenidos de proteínas o, más bien, la composición equilibrada de aminoácidos proteogénicos, son dos de las características más prometedoras de la quinua [25]. Igualmente, estudios realizados en la sabana de Bogotá y en Nariño concuerdan con los resultados encontrados en este estudio [14].

Análisis conglomerados

En el primer conglomerado, claramente se diferencian dos subgrupos: uno formado por los materiales Gen 37 y Gen 48 de Soracá y Chocontá respectivamente, y este último se caracteriza por presentar los menores valores en cuanto a las características de longitud, diámetro y número de panojas, altura de la planta, diámetro del grano, rendimiento de semillas por planta y peso de 1000 granos. En el segundo subgrupo encontramos un material proveniente de Soracá (Gen 115) y de Tuta (Gen 116), que presenta panojas largas, diámetro de panoja intermedio, diámetro de grano pequeño y bajo rendimiento de semillas por planta y peso de 1000 granos (Figura 3).

En el conglomerado dos se puede observar una distribución más laxa de los materiales en cuanto a las características cuantitativas evaluadas; se formaron tres subgrupos claramente diferenciados en los cuales se agruparon los materiales con mayor diámetro de panoja (12,4 cm), altura de la planta (178,2 cm) y diámetro de grano (2,68 cm). Finalmente, en el conglomerado tres se encuentran los materiales más alejados del resto de materiales de quinua evaluados, en donde se resalta que el Gen 52 fue el que presentó los mayores valores de diámetro, longitud y número de panojas, número de ramas secundarias y rendimiento de semillas por planta. Además, se puede observar un pequeño subgrupo conformado por la quinua (Gen 65) y la especie relacionada KW (Kiwicha), presentando esta última el mayor rendimiento de semillas por planta entre todos los materiales evaluados en este estudio.

La agrupación jerárquica de los genotipos de acuerdo con los caracteres cualitativos y cuantitativos, mostró una distribución laxa de los materiales, en la cual predominaron los caracteres asociados a la presencia o ausencia de estrías, hábito de crecimiento y color y forma de la panoja y el tallo y en cuanto a lo cuantitativo la longitud, diámetro y número de panojas como el rendimiento de semillas por planta y el peso de 1000 granos, resultados congruentes con lo reportado en trabajos de caracterización morfológica de quinua [15, 26,27]. En este estudio no se observaron agrupamientos de acuerdo al sitio de origen de los materiales, que si se observaron al evaluar la variación fenotípica intra e inter-poblaciones en siete poblaciones de quinua

Figura. 2. Análisis de conglomerados que muestra los agrupamientos de los materiales de quinua respecto a los caracteres cualitativos.

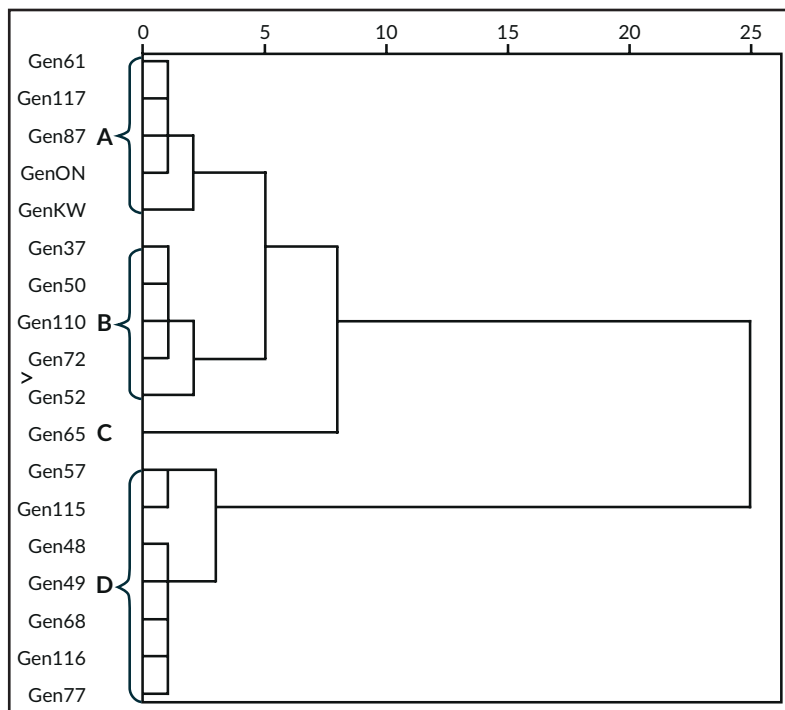
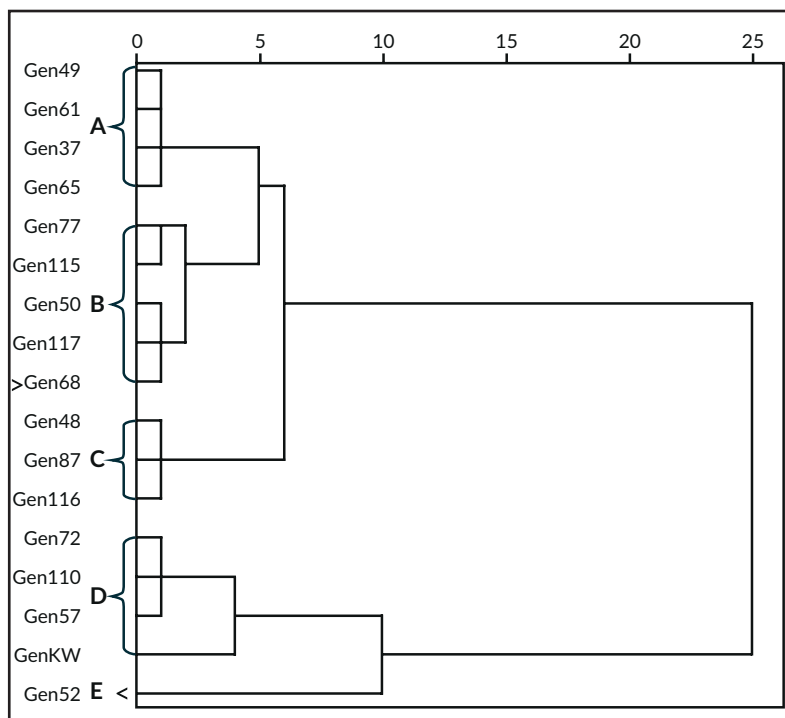


Figura. 3. Análisis de conglomerados que muestra los agrupamientos de los materiales de quinua evaluados respecto a los caracteres cuantitativos.



del altiplano boliviano [28], en el cual los marcadores morfo-fenológicos separaron a las quinua de los sectores más limitantes para la agricultura (altiplano sur y zonas frías del altiplano norte) de aquellas cultivadas en zonas más templadas del lago Titicaca de los valles inter-andinos; la diferenciación de poblaciones de quinua en el altiplano boliviano estaría determinada por la selección bajo factores ambientales, en particular climáticos, y por la variabilidad local de los mismos [28], resultados que concuerdan con lo reportado por [27], en donde todas las accesiones de quinua mostraron un buen crecimiento en las condiciones climáticas subtropicales y semiáridas de Pakistán. En la caracterización agromorfológica de 10 accesiones y variedades de quinua en condiciones del Valle Alto de Cochabamba, el dendrograma mostró dos grupos que distinguen claramente los materiales más precoces y los que tienen mayor rendimiento de grano [23].

La caracterización y evaluación de accesiones consisten en describir las características cualitativas y cuantitativas para discriminar entre ellas, determinar su utilidad, formar colecciones núcleo, identificar duplicados en colecciones, así como también para intercambiar datos y promover su utilización en programas de mejoramiento [9]. Los resultados encontrados en este estudio mostraron que la quinua tiene una gran variabilidad en cuanto a sus caracteres morfológicos tanto cualitativos como cuantitativos, lo cual permite plantear estrategias de conservación *in situ* o *ex situ* con el fin de conservar esa diversidad genética la cual permite implementar programas de mejoramiento genético [29]. Además, la amplia variabilidad genética representa una oportunidad para incorporar genes que no se encuentran en el germoplasma cultivado o que se halla en bajas frecuencias. De manera general, los descriptores asociados al rendimiento estuvieron coeficientes de variación mayores a los relacionados al desarrollo fenológico de la planta lo cual también ya había sido reportado en otros estudios [28].

El germoplasma de quinua es muy diverso a nivel fenotípico que refleja la variación en torno al origen. Este estudio mostró un amplio rango de variabilidad en las accesiones para atributos morfo-fenológicos. La variabilidad observada por numerosos autores para características fenológicas es deseable desde el punto de vista del mejoramiento genético, ya que será posible seleccionar materiales para hacer frente a limitaciones abióticas (frío y sequía) factores que afectan altamente la producción de cultivos locales [26].

Por otro lado, la variación en los rasgos morfológicos es relevante para futuros estudios comparativos de accesiones de quinua de diferentes países ya que se asocian con el lugar de origen o la elevación de las poblaciones y que son consistentes con las caracterizaciones previas de colecciones de Bolivia, Chile y Colombia [15, 23, 29] como también en germoplasma de quinua de Grecia, Pakistán, Alemania [27,30,31]. Lo anterior, es un paso importante para la identificación de cultivares y la discriminación de materiales que poseen los agricultores o los centros de investigación.

Los resultados encontrados en este estudio confirman los obtenidos en diferentes estudios de caracterización morfológica y molecular de quinua en el departamento de Boyacá, en los cuales se ha demostrado que el material de siembra usado por los agricultores, corresponden a una mezcla de variedades, lo cual genera la gran variación de características fenotípicas observables, lo cual afecta caracteres como las concentraciones de saponinas y de tamaño de grano, la calidad y el rendimiento de los productos derivados y, por lo tanto, su comercialización, toda vez que se requiere materiales dulces, para el consumo y altos contenidos de saponinas para el uso industrial y farmacéutico [15,17]. Por lo anterior, se hace necesario realizar más estudios que permitan explorar el germoplasma del departamento para establecer una colección núcleo que sea el punto de partida para la obtención de material certificado que permita satisfacer las necesidades del agricultor, productor y consumidor.

CONCLUSIONES

La evaluación morfoagronómica de los 19 materiales de quinua mostró una gran variabilidad tanto en los caracteres cualitativos como cuantitativos, que puede ser utilizada para el planteamiento de estrategias de mejoramiento genético de la especie, que conduzcan a la identificación de materiales adaptados, con gran rendimiento, con tolerancia a estrés biótico y abiótico, y bajos contenidos de saponinas.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por el financiamiento del desarrollo del proyecto y el Laboratorio de Investigaciones en Biología Molecular Vegetal.

REFERENCIAS

- [1] MARADINI, A.M., RIBEIRO, M., DA SILVA, J., PINHEIRO, H., PAES, J. and DOS REIS, J. Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional. *Food Science and Nutrition*, 57, 2017, p.1618-1630, DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811>.
- [2] SCHMÖCKEL, S., LIGHTFOOT, D., RAZALI, R., TESTER, M. and JARVIS, D. Identification of putative transmembrane proteins involved in salinity tolerance in *Chenopodium quinoa* by integrating physiological data, RNAseq and SNP analyses. *Frontiers in Plant Science*, 21, 2017, p. 1023, DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01023>
- [3] REGUERA, M., CONESA, C.M., GIL-GOMEZ, A., HAROS, C.M., PÉREZ-CASAS, M.A., BRIONES-LABARCA, V., BOLAÑOS, L., BONILLA, I., ÁLVAREZ, R. PINTO, K., MUJICA, A. and BASCUÑAN, L. The impact of different agroecological conditions on the nutritional composition of quinoa seeds. *Peer Journal*, 6, 2018, p. 1-20, DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.4442>.
- [4] ALVAREZ, R., NGUYEN, A., PEREDO, S., JOFFRE, R. and WINKEL, T. Rooting plasticity in wild and cultivated Andean *Chenopodium* species under soil water deficit. *Plant Soil*, 425, 2018, p. 479-492, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3588-7>.
- [5] HUSSIN, S., KHALIFA, W., GEISLER, N. and KOYRO, H.W. Influence of the root endophyte *Piriformospora indica* on the plant water relations, gas exchange and growth of *Chenopodium quinoa* at limited water availability. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203, 2017, p. 373-384, DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12199>.
- [6] PEREIRA, E., ENCINA, C., BAROS, L., GONZALES, U., CADAVEZ, U. and FERREIRA, I. Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food. *Food Chemistry*, 280, 2019, p. 110-114, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>.
- [7] VILCACUNDO, R. and HERNÁNDEZ, B. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 2017, p. 1-6, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- [8] EISA, S., M.A., EID, E.H., ABD, EL-SAMAD., S.A, HUSSIN., A.A, ABDEL-ATI., N.E, EL-BORDENY., S.H, ALI., H.M.A, AL-SAYED, M.E., LOTFY, A.M., MASOUD, A.M., EL-NAGGAR, M. and EBRAHIM, M. *Chenopodium quinoa* Willd. A new cash crop halophyte for saline regions of Egypt. *Australian Journal of Crop Science*, 11, 2017, p. 343-351, DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.03.pne316>.
- [9] BEDOYA, N., PUMI, G., MUJICA, A., TALAMINI, E. and DOMINGOS, A. Quinoa expansion in Peru and its implications for land use. *Sustainability*, 10, 2018, p. 532-544, DOI: <https://doi.org/10.3390/su10020532>.
- [10] ANDREWS, D. Race, Status, and Biodiversity: The social climbing of quinoa. *Culture, Agriculture, Food and Environment*, 39, 2017, p. 15-24. DOI: <https://doi.org/10.1111/cuag.12084>.
- [11] GARCÍA, M., GARCÍA, J. y CARVAJAL, R. Evaluación del efecto de la fertilización química y orgánica en la composición bromatológica de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Boyacá-Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9, 2018, p. 99-107.
- [12] DELATORRE, J., SÁNCHEZ, M., DELFINO, I. y OLIVA, M. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), un tesoro andino para el mundo. *Idesia*, 31, 2013, p.111-114.
- [13] TORRES, J., VARGAS, H., CORREDOR, G. and REYES, I.M. Morpho-agronomic characterization of nineteen cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Bogota's savanna conditions. *Agroonomía Colombiana*, 17, 2000, p. 61-68.
- [14] DELGADO, A., PALACIOS, J. y BETANCOURT, C. Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agroonomía Colombiana*, 27, 2009, p.159-167.
- [15] INFANTE, H., ALBESIANO, S., ARRIETA, L. and GÓMEZ, N. Morphological characterization of varieties of *Chenopodium quinoa* cultivated in the department of Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 21, 2018, p. 1-12, DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.977>.
- [16] KHALIFA, W. and THABET, M. Variation in downy mildew (*Peronospora variabilis* Gäum) resistance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars under Egyptian conditions. *Middle East Journal of Agriculture*, 70, 2018, p. 671-682.
- [17] MORILLO, A., MANJARRES, E. and MORILLO, Y. Molecular characterization of *Chenopodium quinoa* Willd. Using inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. *African Journal of Biotechnology*, 16, 2017, p. 483-489, DOI: 10.5897/AJB2017.15925.

- [18] ROJAS, W. Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. *Food Reviews International*, 19, 2003, p. 9-23. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018864>.
- [19] AL-NAGGAR, A., EL SALAM, R., BADRAN, A. and EL-MOGHAZI, M. Heritability and interrelationships for agronomic, physiological and yield traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under elevated water stress. *Archives of current research international*, 10, 2017, p. 1-15.
- [20] SPEHAR, C.R. and SANTOS, R.L.D. Agronomic performance of Quinoa selected in the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 2005, p. 609-612, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600012>.
- [21] BHARGAVA, A., SHUKLA, S., RAJAN, S. and OHRI, D. Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54, 2007, p. 167-173, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-005-3011-0>.
- [22] FUENTES, F. and BHARGAVA, A. Morphological analysis of Quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 2011, p. 124-134, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00445.x>
- [23] ALANOCA, C. y MACHACA, E. Caracterización agromorfológica de 10 accesiones y variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones del Valle Alto de Cochabamba. *Revista científica de investigación INFO-INIAF*, 1, 2015, p. 21-29.
- [24] GRAF, B.I., ROJO, L.E., DELATORRE, J., POULEV, A., CALFIO, C. and RASKIN, I. Phytoecdysteroids and flavonoid glycosides among Chilean and commercial sources of *Chenopodium quinoa*: variation and correlation to physico-chemical characteristics. *Science of Food and Agriculture*, 96, 2016, p. 633-643, DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7134>.
- [25] GARCÍA, A., TORRES, O. and ARIZA, H. Physico-chemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranth (*Amaranthus caudatus* L.), and Chía (*Salvia hispanica* L.) flours and seeds. *Acta Agronómica*, 67, 2018, p. 215-222, DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.63666>.
- [26] CURTI, R.N., DE LA VEGA, A.J., ANDRADE, A.J., BRAMARDI, S.J. and BERTERO, H.D. Multi-environmental evaluation for grain yield and its physiological determinants of quinoa genotypes across Northwest Argentina. *Field Crops Research*, 166, 2014, p. 46-57, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.011>
- [27] FAROOQ, M., AZIZ, S., AZIZ, A., JAVAID, M., MUHAMMAD, H., WASAYA, A., AHMAD, T. and WAHID, A. Morphological features of different accessions of *Chenopodium quinoa*. *Pure and Applied Biology*, 7, 2018, p. 374-383, DOI: <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2018.70046>
- [28] DEL CASTILLO, C., WINKEL, T. and BIZOUX. Genetic structure of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Bolivian altiplano as revealed by RAPD markers. *Genetic Resources Crop Evolution*, 54, 2017, p. 897-905.
- [29] MADRID, D., SALGADO, E., VERDUGO, G., OLGUÍN, P., BILALIS, D. and FUENTES, F. Morphological traits defining breeding criteria for coastal quinoa in Chile. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46, 2018, p. 190-196, DOI: <http://dx.doi.org/10.15835/nbha46110788>
- [30] NOULAS, C., TZIOUVALEKAS, M., VLACHOSTERGIOS, D., BAXEVANOS, E., KARYOTIS, T. and ILIADIS, C. Adaptation, agronomic potential, and current perspectives of quinoa under Mediterranean conditions: case studies from the lowlands of central Greece. *Communications in soil science and plant analysis*, 48, 2018, p. 2612-26-29, DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1416129>.
- [31] PRAGER, A., MUNZ, S., MEHDI, P., MAST, B. and GRAEFF, S. Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in southwestern Germany. *Agronomy*, 8, 2018, p. 197, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00509.x>