

Evaluación morfoagronómica de 100 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) por su respuesta a mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum), rendimiento y contenido de saponina en Cusco, Perú

Morphoagronomic Evaluation of 100 Accessions of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) For Their Response to Mildew (*Peronospora variabilis* Gäum), Yield and Saponin Content in Cusco, Peru

Rigoberto Estrada Zúniga¹ orcid.org/0000-0002-0652-9437

Leidy G. Bobadilla² orcid.org/0000-0002-9873-1252

Edgar Neyra Valdez³ orcid.org/0000-0003-2086-7245

Michael Bryan Manotupa Tupa⁴ orcid.org/0000-0001-9719-8727

Aquilino Álvarez Caceres⁴ orcid.org/0000-0002-7699-692X

Elizabet Céspedes Florez⁴ orcid.org/0000-0002-4389-2227

¹Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Estación Experimental Agraria Andenes (EEAA), Cusco, Perú.

²Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario (DDTA), Lima, Perú

³Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), Lima Perú.

⁴Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Cusco, Perú.

Autor de correspondencia: restrada@inia.gob.pe

Resumen

Objetivo: seleccionar accesiones de quinua como posibles diferenciales de reacción positiva a mildiu que identifiquen la variabilidad de *Peronospora variabilis* Gäum como patógeno recolectado en cinco departamentos y evaluado en Cusco. Materiales y métodos: se colectaron muestras de mildiu del altiplano (Puno), valles interandinos (Cusco, Apurímac, Ayacucho) y costa (Arequipa), obteniendo 175 muestras de mildiu. La instalación del experimento fue con 100 accesiones de quinua del Banco de Ger-

Abstract

Objective: was to select quinoa accessions as possible positive reaction differentials to mildew that identify the variability of *Peronospora variabilis* Gäum as a pathogen collected in five departments and evaluated in Cusco. Material and methods: mildew samples were collected from the altiplano (Puno), inter-Andean valleys (Cusco, Apurímac, Ayacucho), and coast (Arequipa), obtaining 175 mildew samples. The installation of the experiment was with 100 accessions of quinoa from the Germplasm Bank

moplasma de la EEAA en campos de cultivo durante dos campañas productivas; para su valoración se utilizaron descriptores de quinua y se evaluaron características agronómicas, rendimiento, reacción a mildiu (*P. variabilis*), área bajo la curva de crecimiento de la enfermedad (AUDPC, por sus siglas en inglés) y porcentaje de saponina. Además, se realizaron pruebas de virulencia y evaluaciones de severidad después de inocular las accesiones de quinua con mildiu en invernadero. Resultados: la evaluación morfoagronómica permitió la selección como posibles diferenciales con reacción positiva a mildiu a los genotipos: RR.GG.41 para aislados de Ayacucho, RR.GG.09 para aislados de Apurímac, RR.GG.16 para aislados de Apurímac y Arequipa, RR.GG.57 para aislados de Puno y Apurímac, RR.GG.26 para aislados de Ayacucho y Apurímac, RR.GG.38 para aislados de Cusco y Arequipa, RR.GG.43 para aislados de Puno y Arequipa, RR.GG.76 para aislados de Cusco y Arequipa y las accesiones de quinua RR.GG.11, RR.GG.22, RR.GG.55, RR.GG.64 para los 142 aislados que se logró obtener de las 175 muestras de los cinco departamentos. Conclusión: la identificación de doce posibles plantas diferenciales permite conocer la variabilidad del patógeno en los valles costeros, interandinos y altiplano.

Palabras clave

caracterización, conglomerado, variabilidad, diferenciales, resistencia.

of EEA Andenes in cultivated fields during two productive campaigns. For its evaluation, quinoa descriptors were used and agronomic characteristics, yield, reaction to mildew (*P. variabilis*), AUDPC (area under the disease growth curve), and saponin percentage were evaluated. In addition, virulence tests and severity evaluations were performed after inoculating quinoa accessions with mildew in the greenhouse. Results: the morphoagronomic evaluation allowed selecting the following genotypes as possible differentials with a positive reaction to mildew: RR.GG.41 for isolates from Ayacucho, RR.GG.09 for isolates from Apurímac, RR.GG.16 for isolates from Apurímac and Arequipa, RR. .GG.57 for isolates from Puno and Apurímac, RR.GG.26 for isolates from Ayacucho and Apurímac, RR.GG.38 for isolates from Cusco and Arequipa, RR.GG.43 for isolates from Puno and Arequipa, RR. GG .76 for isolates from Cusco and Arequipa and the quinoa accessions RR.GG.11, RR.GG.22, RR.GG.55, RR.GG.64 for the 142 isolates obtained from the 175 samples of the five departments. Conclusions: the identification of twelve possible differential plants allows knowing the variability of the pathogen in the coastal, inter-Andean, and high plateau valleys.

Keywords

characterization, conglomerate, variability, differentials, resistance.

Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano andino con excelentes propiedades nutricionales que destacan por su alto contenido proteico, ya que tiene todos los aminoácidos, elementos traza y cantidades significativas de vitaminas C, E (tocoferoles) y B (B1, B2 y B3) junto con importantes minerales (Ca, K, Fe, Mg, Mn, P) e isoflavonas, que pueden contribuir a sus propiedades antioxidantes (Morillo-Coronado *et al.*, 2017). En ese sentido, en el año 2013 se declaró como el año internacional de la quinua, como una forma de reconocer a los pueblos andinos que mantienen y preservan la quinua como alimento para generaciones presentes y futuras (FAO, 2013).

La producción de quinua es creciente en el país e involucra a más de 85 000 unidades agropecuarias en una superficie superior a las 64 660 has (MIDAGRI, 2019). Las principales regiones de producción de quinua son: Puno, que representa 37% de la producción nacional de este grano; le sigue Arequipa con 20%; Ayacucho con 14% y Junín con 8%, que equivale a un área total de cultivo de alrededor de 65 000 hectáreas, según el Ministerio de Agricultura (citado por Zegarra, 2018); sin embargo, la producción de quinua se afecta por diversos factores abióticos (heladas, sequía, granizada) y bióticos (plagas y enfermedades) (Gabriel *et al.*, 2012).

Entre los principales problemas en la producción se encuentran los daños ocasionados por la enfermedad del mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum), que disminuye considerablemente la producción (Vilca, 2013). La incidencia de una de las principales enfermedades como el mildiu se presenta en los diferentes ambientes del altiplano, valles interandinos y en la costa donde se desarrolla el cultivo, por lo que es de importancia económica y se extiende hasta las zonas de cultivo de quinua (Danielsen y Ames, 2000). Con el aumento significativo del área de cultivo de quinua en la última década, en el Perú, los problemas ocasionados por el mildiú (*P. variabilis*) se incrementaron notablemente por la alta susceptibilidad de las variedades comerciales y los ambientes favorables para su multiplicación (Carbajal, 2019).

Otro de los problemas que enfrentan los departamentos de la zona andina de Perú, respecto al cultivo de la quinua, es la falta de identificación de las características morfoagronómicas de sus materiales de siembra, ya que son los mismos agricultores quienes realizan la selección de semilla campaña tras campaña; lo que ocasiona campos de cultivo con mezcla varietal, producto de ese proceso de selección (Morillo-Coronado *et al.*, 2017). Cuando se cultivan variedades susceptibles y se presentan condiciones de clima favorables, particularmente alta humedad relativa, los efectos del mildiu son severos. Si el ataque ocurre en fases iniciales de desarrollo de la planta, se puede perder completamente la producción; en variedades resistentes las pérdidas oscilan entre 20 y 40% (Danielsen y Lübeck, 2010).

En el departamento de Puno, Arapa, en 2006 se realizó la selección por rendimiento de grano y características deseables para procesamiento de genotipos de quinua tolerantes a mildiu. Se consideraron como características deseables el rendimiento de grano por hectárea, el tamaño de grano, el contenido de saponinas, el contenido de proteínas, la longitud y diámetro de panoja y la severidad del mildiu; como resultado se obtuvieron 21 líneas de quinua tolerantes al mildiu con buenos rendimientos.

Por lo anterior, se consideró conveniente realizar la evaluación morfoagronómica de respuesta a mildiu *P. variabilis*, el rendimiento y contenido de saponina de 100 accesiones de quinua en el departamento de Cusco, Perú, con el objetivo de encontrar posibles plantas diferenciales que identifiquen la variabilidad del patógeno de los cinco Departamentos de Colecta, con la finalidad de facilitar la selección de futuras variedades de quinua por resistencia a determinada variabilidad de mildiu que sea identificada.

Materiales y métodos

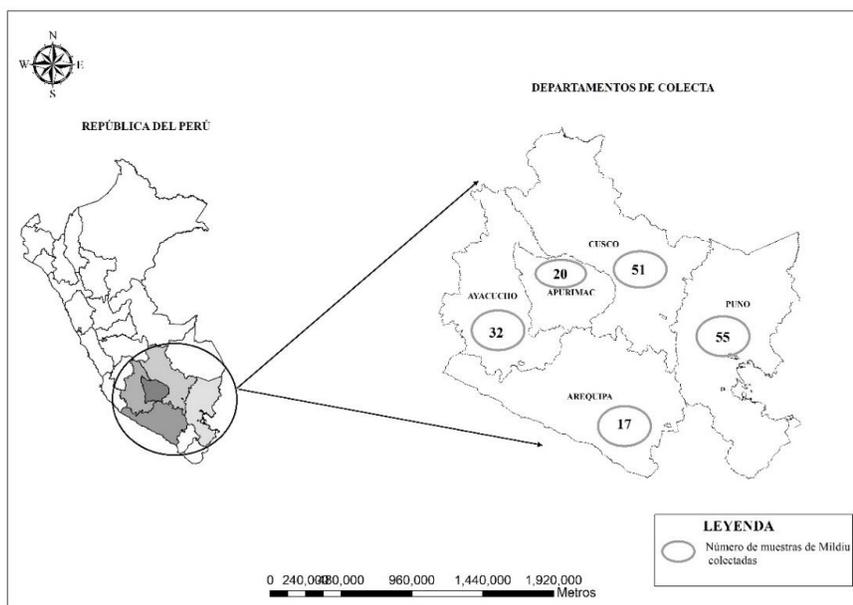
Ámbito de colecta de muestras de mildiu

Con base en las zonas de producción de quinua en el sur del Perú, se estratificaron las colectas de muestras de mildiu en tres ambientes: el altiplano (Puno 3 815 a 3 960 msnm), valles interandinos (Cusco, Apurímac, Ayacucho 2 648 a 3 600 msnm) y la costa (Valles costeros de Arequipa 1 250 a 1 571 msnm), con la finalidad de contar con muestras representativas de zonas de mayor producción y analizar el grado de agresividad de *P. variabilis* Gäum, presente en estos ambientes. Se obtuvieron 175 muestras, que corresponden a cinco departamentos del sur del Perú, de los cuales 32 aislados corresponden a Ayacucho, 20 a Apurímac, 55 a Puno, 51 a Cusco y 17 a Arequipa (figura 1), codificados anteponiendo las dos primeras letras del nombre del departamento al que corresponde y el número secuencial de registro.

Instalación del experimento

La investigación se realizó en el laboratorio de fitopatología y en los campos de cultivo de la EEAA, ubicados estos últimos a 3 442 msnm del distrito de Zurite, Cusco, para la caracterización agronómica de las 100 accesiones de quinua, luego fueron sometidas a las pruebas de virulencia con 142 aislados procedentes de los cinco departamentos. Cabe indicar que se colectaron 175 muestras, habiéndose logrado aislar 142 y con los cuales se ejecutaron las pruebas de virulencia.

Figura 1
Sitios de colecta del mildiu (*P. variabilis*)



Respuesta a mildiu (*P. variabilis*)

Para esta evaluación se empleó el manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno en la zona andina propuesto por Danielsen y Ames (2000) quienes contemplan los siguientes procedimientos:

- Se multiplicó el inóculo en placas Petri con agar agua al 0.7%. Para ello, se extrajeron los esporangios de las hojas colectadas con un chorro de agua a presión, esta suspensión fue concentrada por centrifugación a 2 500 rpm por cinco minutos, seguidamente la suspensión fue colocada en placas Petri y sobre éstas se colocaron hojas tiernas de quinua de la variedad Quillahuaman INIA (considerada como susceptible), de forma que los esporangios estén en contacto con el haz de la hoja para su germinación directa que es carácter particular de este grupo de especies.
- Ocho días después se cosechó el inóculo producido para realizar las pruebas de virulencia con un chorro de agua a presión. Para estas pruebas se sembraron 100 accesiones de quinua del germoplasma de la EEAA Cusco en bandejas forestales en turba, con tres semillas por celda, y se les dieron los cuidados necesarios de riego y fertilización hasta que desarrollasen el primer par de hojas verdaderas bajo condiciones de invernadero.
- La inoculación de las plantas se realizó rociando 50 mililitros de una suspensión de 10^5 esporangios por mililitro calculado y utilizando una cámara de conteo de Neubauer, ajustada según la necesidad, en una solución de polisorbato 20 (cuatro gotas/litro) como tensoactivo, en plantas acondicionadas en cámara húmeda en bolsas plásticas. Después de la inoculación las plantas fueron incubadas a temperatura ambiente por 24 horas bajo condiciones de oscuridad, posteriormente fueron retiradas de las bolsas y colocadas a temperatura ambiente bajo luz artificial con un fotoperiodo de 12 horas por seis días hasta que los síntomas fueron evidentes. Por último, las bandejas fueron colocadas en bolsas plásticas para crear condiciones favorables de humedad para la esporulación.

Evaluación de grado de esporulación

La evaluación se realizó utilizando el índice de esporulación y desarrollo del síntoma de mildiu de la quinua en prueba de plántulas (Danielsen y Ames, 2000) con la siguiente escala:

Escala	Descripción
0	Ausencia de síntomas evidentes, ausencia de necrosis.
1	Lesiones pequeñas clorótico-necróticas (2-5 mm) con micelio truncado en el mesófilo de la hoja.
2	Lesiones cloróticas pequeñas (4-8 mm) con poca esporulación.
3	Lesiones esporulantes, cloróticas definidas de tamaño mediano. Esporulación principalmente en la superficie inferior de la hoja.

- | | |
|---|---|
| 4 | Lesiones cloróticas grandes no claramente definidas, pero con esporulación. Esporulación principalmente en la superficie inferior de la hoja. |
| 5 | Clorosis suave con abundante esporulación en ambas superficies de la hoja. |

0-2 = Resistente, 3-5 = Susceptible.

Evaluación de caracteres morfológicos y reacción a mildiu en campo

La instalación del material genético a nivel de campo se ejecutó en las campañas agrícolas 2016-2017 y 2017-2018 con un total de 100 accesiones de quinua procedentes del Banco de germoplasma de la EEAA, el trabajo experimental se instaló bajo el diseño de Látice simple 10*10 con tres repeticiones en parcelas de cuatro surcos distanciados a 0.80 m con una longitud de 2.00 m, haciendo un área por parcela de 6.4 m² con el uso de tecnología media de producción y utilizando el nivel de fertilización de 80-60-40 de N, P₂O₅, K₂O, respectivamente. Las evaluaciones en campo se desarrollaron utilizando los descriptores de quinua y sus parientes silvestres, publicado por Bioersity Internacional (2013), para determinar las características fenotípicas de las accesiones de quinua.

Por otro lado, también se evaluaron características agronómicas como altura de planta (m), longitud de panoja (cm), diámetro de panoja (cm), diámetro de grano (mm), espesor de grano (mm), rendimiento por planta (g), días a la floración, días a 50% de floración, días a la madurez fisiológica, área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) mildiu, saponina (%) y rendimiento (t/ha).

Evaluación de severidad de mildiu en campo

Se realizaron evaluaciones sucesivamente cada 20 días y se calculó el AUDPC (área bajo la curva de progreso de la enfermedad) con base en mediciones del porcentaje de severidad. La fórmula general para el cálculo de AUDPC es:

$$AUDPC = \left(\sum_i^{n-1} (y_i + y_{i+1}) \right) / 2 * (t_{i+1} - t_i)$$

Dónde: n es el número de evaluaciones, y es la severidad y t es el número de días después de la siembra en que se hace la evaluación. Se incluye $(t, y) = (0, 0)$ como la primera evaluación (Danielsen y Ames, 2000).

Análisis de datos

En esta fase se realizaron análisis exploratorios para probar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se calcularon las medidas de resumen, se hicieron análisis de conglomerados para verificar el agrupamiento por su nivel de respuesta a mildiu y contenido de saponina, análisis de varianza, comparación múltiple de Duncan a 5% de significación; también se realizó el análisis de correlación de Pearson para medir el grado de asociación existente entre las principales variables cuantitativas, utilizando el software estadístico InfoStat/Profesional versión 2018p (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Resultados

En el cuadro 1 se pueden apreciar las características agronómicas de las 100 accesiones evaluadas en campo luego de la inoculación con mildiu a lo largo de dos campañas agrícolas. El análisis de rendimiento en grano de las accesiones evaluadas presenta alta variabilidad productiva, donde se obtuvo un valor mínimo de 0.02 t/ha y un máximo de 5.17 t/ha, el contenido de saponina registró el valor mínimo de 0.00% y máximo de 0.12%. Con respecto a la altura de planta, se presenta poca variabilidad de datos con una altura mínima de 1.16m y máxima de 1.98 m.

Cuadro 1
Medidas de resumen de características cuantitativas
de las 100 accesiones de quinua

Variable	Media	DE	CV	Mín	Máx	Mediana
Altura de planta (m)	1.62	0.13	8.29	1.16	1.98	1.61
Longitud de panoja (cm)	46.76	10.53	22.51	18.90	72.33	47.00
Diámetro de panoja (cm)	8.80	2.29	26.01	3.70	18.63	8.67
Diámetro de grano (mm)	2.04	0.14	6.78	1.60	2.41	2.05
Espesor de grano (mm)	1.01	0.09	9.37	0.70	1.42	1.02
Rendimiento/planta (g)	29.40	12.61	42.87	7.40	84.30	26.71
Floración (días)	88.00	9.63	10.91	44.00	109.00	87.00
Floración 50% (días)	103.00	9.51	9.21	72.00	124.00	102.00
Madurez fisiológica (días)	180.00	13.52	7.51	149.00	202.00	179.00
Mildiu AUDPC	1193	623	52	185	2320	1090
Saponina (%)	0.07	0.02	29.60	0.00	0.12	0.08
Rendimiento (t/ha)	1.58	0.96	60.78	0.02	5.17	1.30

Para obtener el nivel de asociación, el cuadro 2 muestra los análisis de correlación para las variables evaluadas, donde se encontró asociación significativa y positiva entre altura planta y longitud panoja ($r=0.221$ y $p=0.000$), diámetro de grano y rendimiento ($r=0.202$ y $p=0.000$), espesor de grano y rendimiento ($r=0.284$ y $p=0.000$), contenido de saponina y rendimiento ($r=0.132$ y $p=0.022$), longitud panoja y diámetro panoja ($r=0.524$ y $p=0.000$), diámetro de grano y espesor de grano ($r=0.523$ y $p=0.000$), las dos últimas con el mayor valor de correlación. Por otro lado, también se observaron correlaciones significativas pero negativas entre diámetro de panoja y rendimiento ($r=-0.208$ y $p=0.000$), AUDPC y rendimiento ($r=-0.120$ y $p=0.037$) longitud de panoja y diámetro de grano ($r=-0.267$ y $p=0.000$), diámetro de panoja y diámetro de grano ($r=-0.423$ y $p=0.000$), diámetro de panoja y espesor de grano ($r=-0.182$ y $p=0.002$), diámetro de panoja y contenido de saponina ($r=-0.150$ y $p=0.009$) y diámetro de grano y AUDPC ($r=-0.121$ y $p=0.036$), en todo los casos de las correlaciones negativas con valores muy bajos.

Cuadro 2

Correlación de Pearson y valor p para los principales parámetros cuantitativos de las accesiones de quinua

		ALPL	RDTO	LPAN	DPAN	DGRA	EGRA	AUDPC
RDTO	Correlación	0.039						
	Valor p	0.506						
LPAN	Correlación	0.221	-0.071					
	Valor p	0.000	0.223					
DPAN	Correlación	0.025	-0.208	0.524				
	Valor p	0.669	0.000	0.000				
DGRA	Correlación	0.019	0.202	-0.267	-0.423			
	Valor p	0.741	0.000	0.000	0.000			
EGRA	Correlación	-0.040	0.284	-0.044	-0.182	0.523		
	Valor p	0.485	0.000	0.446	0.002	0.000		
AUDPC	Correlación	0.069	-0.120	-0.014	-0.062	-0.121	-0.084	
	Valor p	0.231	0.037	0.813	0.284	0.036	0.145	
Saponina	Correlación	-0.121	0.132	-0.106	-0.150	0.084	0.068	-0.074
	Valor p	0.037	0.022	0.068	0.009	0.147	0.240	0.202

ALPL: Altura planta, RDTO: Rendimiento, LPAN: Longitud panoja, DPAN: Diámetro panoja, DGRA: Diámetro grano, EGRA: Espesor de grano, AUDPC: Área bajo la curva de crecimiento de la enfermedad

Con respecto al contenido de saponina (%), mediante el análisis de conglomerados con una distancia Euclídea se logró la conformación de cuatro grupos, los cuales comparten características similares, los genotipos evaluados y agrupados se muestran en la figura 3. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre la conformación de grupos ($p = 0.0001$), donde el grupo 4 con 26 accesiones presentó un promedio superior de 0.435 ± 0.080 , el grupo 3 con cinco accesiones presentó un promedio de 0.228 ± 0.205 , el grupo 2 con ocho accesiones presentó un promedio de 0.293 ± 0.103 y el grupo 1 con 62 accesiones presentó un promedio de 0.371 ± 0.091 . De estos resultados se observa que 26 accesiones presentan alto contenido de saponina.

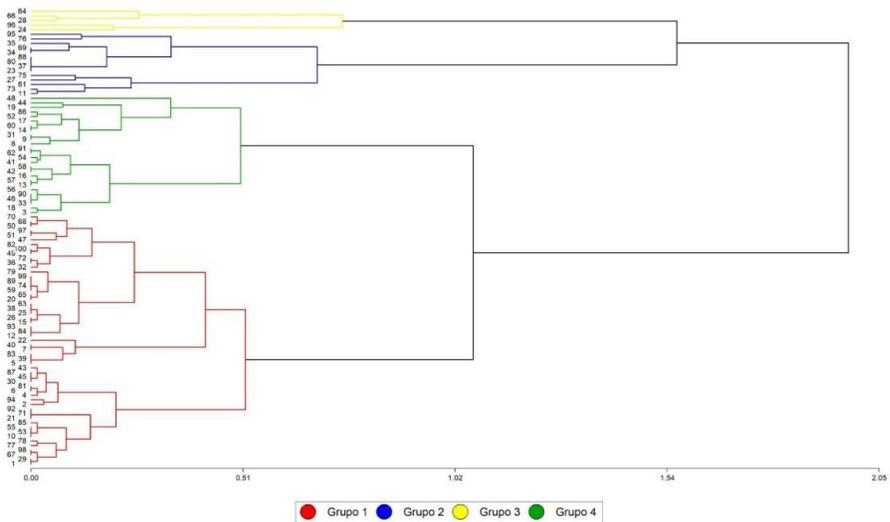
Entre los principales resultados de la caracterización fenotípica se detalla la siguiente información:

- *Hábito de crecimiento*: predominó el número de accesiones con el carácter ramificado hasta el tercio inferior y luego hasta el tercio medio de la planta.
- *Forma de tallo*: es predominantemente cilíndrica con dos accesiones diferenciadas para este carácter que presentaron tallo anguloso.
- *Color del tallo*: 55% de las accesiones no presentan pigmentación en las axilas; sin embargo, sí se observó variación con respecto a la pigmentación de las estrías

en los tallos entre los colores rojo (50%), verde (45%), púrpura (3%) y amarillo (2%); además, sobre el carácter del tallo se encontró que 95% de las accesiones presentaron ramificación.

- *Características de las hojas*: predomina las de borde dentado (86%) con el peciolo de color verde (81%), rojo (11%) y verde-rojo (8%), para determinar el color de la lámina foliar, igualmente se utilizó el descriptor de colores RHS encontrando hasta ocho grupos diferentes por el color de la lámina foliar. Similar carácter de diferencia en el color se evaluó a mayor detalle con respecto a la pigmentación de la panoja en la etapa de floración y madurez fisiológica.
- *Forma de panoja*: se encontró accesiones con panoja amarantiforme (29%) e intermedia (71%), para el carácter de densidad de panoja entre intermedia (56), laxa (41%), compacta (3%). Presentando las panojas a la madurez un grado de dehiscencia, ligera (62%), regular (35%) y fuerte (3%).
- *Características de grano*: el color predominante del perigonio fue entre crema (29%), amarillo (17%), amarillo dorado (11%) y rojo (18%), y el color de pericarpio 87% crema con episperma blanco (93) y crema (7%) con apariencia opaca para 100% de las accesiones.

Figura 3
Análisis de conglomerado de 100 accesiones de quinua
por su contenido de saponina

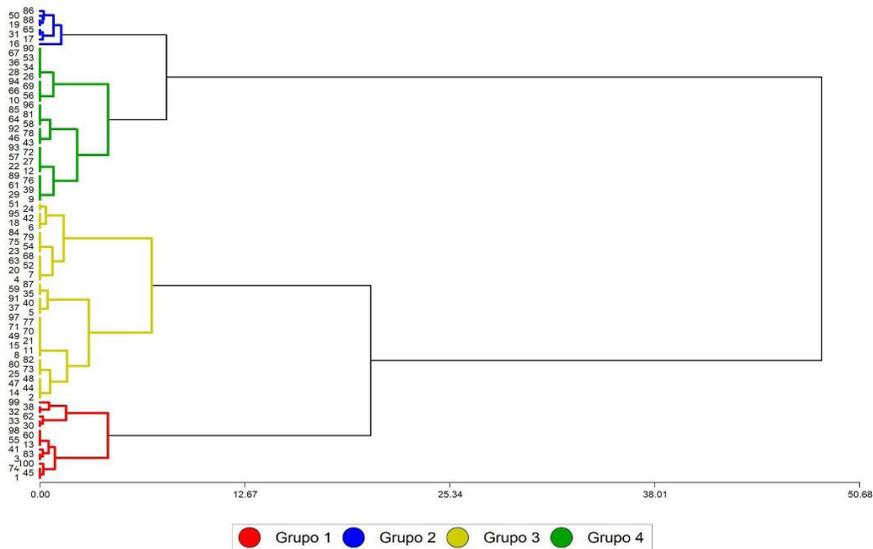


La evaluación de las 100 accesiones de quinua y su reacción a mildiu en el tercio medio de la planta se agruparon en cuatro grupos (figura 4). El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre grupos ($p=0.0001$), indicando que el grupo 4 mostró la media más alta de AUDPC con $2\ 143.75 \pm 126.89$ y la menor la obtuvo el grupo 1 con $1\ 576.47 \pm 259.15$. Con respecto a la severidad de infección de mildiu y

sus implicancias en el rendimiento se observó una correlación negativa ($r = -0.120$ con $P\text{-valor} = 0.037$) lo que representa que a la reacción susceptible de las accesiones de quinua hay tendencia a la disminución de rendimiento en grano.

Figura 4

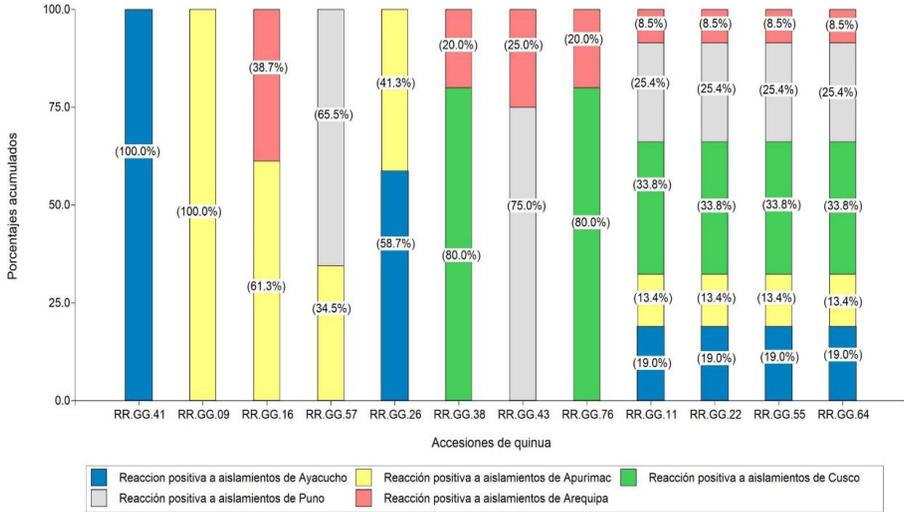
Análisis de conglomerado de 100 accesiones de quinua según reacción a mildiu



Posterior a la caracterización cualitativa y cuantitativa a nivel de campo de las 100 accesiones de quinua, se lograron seleccionar 48 accesiones con diversos grados de reacción a mildiu para la búsqueda de diferenciales, a través de inoculaciones frente a los 142 aislados procedentes de los cinco departamentos; a partir de estas accesiones y las evaluaciones de virulencia de los aislados por su respuesta de susceptibilidad de cada una de ellas frente a los 27 de Ayacucho, 19 de Apurímac, 48 de Cusco, 36 de Puno y 12 de Arequipa. Se logró seleccionar como posibles diferenciales con reacción positiva a mildiu a las siguientes doce accesiones: RR.GG.41 sólo para aislados de Ayacucho, RR.GG.09 para aislados de Apurímac, RR.GG.16 para aislados de Apurímac y Arequipa, RR.GG.57 para aislados de Puno y Apurímac, RR.GG.26 para aislados de Ayacucho y Apurímac, RR.GG.38 para aislados de Cusco y Arequipa, RR.GG.43 para aislados de Puno y Arequipa, RR.GG.76 para aislados de Cusco y Arequipa y las accesiones de quinua RR.GG.11, RR.GG.22, RR.GG.55, RR.GG.64 para los 142 aislados de los cinco departamentos (figura 5).

Figura 5

Selección de posibles plantas diferenciales para la identificación de *P. variabilis* por departamento



Discusión

La longitud de panoja promedio fue de 46.76 cm, superior a lo reportado por Arapa (2006) quien obtuvo un valor máximo de 37.33 cm para un total de 21 líneas de quinua en condiciones de Puno luego de inocularlas con mildiu; también es superior a lo obtenido por Alcón y Bonifacio (2018) para la variedad Jacha grano con aplicación de estiércol ovino, quienes obtuvieron una longitud de panoja promedio de 22.26 cm en condiciones de Bolivia.

Respecto al diámetro de panoja, León (2016) obtuvo un promedio similar al de esta investigación con 8.41 cm para la variedad Salcedo INIA, inoculada con mildiu y con aplicación de *Trichoderma* en condiciones agroecológicas similares a los de esta investigación.

La altura de planta promedio fue de 1.62 m superior a lo obtenido por Alcón y Bonifacio (2018) para una variedad comercial de quinua Jacha grano, obteniendo un valor promedio de 1.01 m.

Con respecto a la variable rendimiento por planta Mestanza *et al.* (2019) para genotipos sin presencia de mildiu, reportaron un valor máximo de 143.15 g y un mínimo de 4.61 g en condiciones de Ecuador, valores superiores a los obtenidos en esta investigación (29.4 g).

Sangster (2018) registró la floración a los 64 días para las variedades LM89; Salcedo INIA, Pasancalla y Negra Collana llegaron a su madurez fisiológica a los 129 días, mostrando que se trataron de variedades precoces comparadas con los de esta investigación, en la que se tuvo 88 días para la floración y 180 días para la madurez fisiológica.

Con respecto a las variables diámetro y espesor de grano, Gabriel *et al.* (2012) obtuvieron valores similares con 2.42 mm de diámetro y 1.06 mm de espesor para 16 cultivares de quinua inoculados con mildiu en Cochabamba, Bolivia.

El promedio del rendimiento registrado (1.580 t/ha) es superior a lo obtenido por Esequiel (2015) para la variedad de quinua Altiplano inoculada con mildiu y sometida a control químico, que registró un rendimiento máximo de 1.227 t/ha en condiciones de Baños del Inca, Cajamarca, Perú.

Respecto a las variables morfológicas, para el color de tallo, 55% de las accesiones no presentan pigmentación en las axilas; sin embargo, sí se observó variación de con respecto a la pigmentación de las estrías en los tallos entre los colores rojo para un 50% de los casos; estos resultados difieren de lo obtenido por Torres (2019), quienes para su grupo mayoritario de cruzamientos de quinua reportaron una ausencia de color de estría y en cuanto a la pigmentación de las axilas al igual que en esta investigación fue ausente.

Con relación a la forma de panoja, para la evaluación de 10 accesiones de quinua en condiciones de Bolivia, Alanoca y Machaca (2015) registraron una de forma glomerulada, lo que difiere de lo encontrado en esta investigación, en la que predominó la forma de panoja intermedia en 79% de los casos.

En cuanto al hábito de crecimiento, predominaron los ramificados hasta el tercio inferior y de hasta el tercio medio, resultados similares a los de Rojas *et al.* (2014) para la caracterización de bancos de germoplasma de quinua en los países de Bolivia, Perú y Chile.

La forma de tallo, borde de la hoja y color de peciolo que predominaron fueron: tallo anguloso, borde dentado y color de peciolo verde, resultados similares a los de León (2020) para la caracterización de 100 accesiones de quinua en cuatro regiones del Perú, obteniendo para su grupo mayoritario una forma de tallo anguloso, borde de hoja dentado y color de peciolo verde-rojo.

En esta investigación se tuvo como color predominante del perigonio el color crema (29%), el color del pericarpio crema (87%) y apariencia opaca para 100% de accesiones. Estos resultados difieren de lo obtenido por Apaza (2014), quien para la cruza de la variedad Salcedo INIA X Huariponcho que presentó un color de pericarpio café oscuro de aspecto sucroso y un color predominante del pericarpio amarillo dorado en condiciones de Arequipa, Perú. Las diferencias encontradas podrían deberse principalmente a la diferencia varietal.

Respecto al porcentaje de saponina, en esta investigación se identificaron accesiones con 0.00 hasta 0.12%, pero en estudios similares, como el de Mina (2014) se obtuvo un valor máximo de 0.06 % para la línea 75 en la evaluación agronómica de líneas F5 de quinua en Santa Catalina, Ecuador. Al respecto, en este estudio se cuenta con accesiones que presentan mayor contenido de saponina.

El AUDPC obtenido fue de $1\ 576.47 \pm 259.15$, superior a lo registrado por Guevara *et al.* (2018) para un genotipo amarillo Maranganí con una media de 1 066.9 en condiciones de Amazonas, Perú. Por otro lado, León (2016) obtuvo valores similares a los de esta investigación en condiciones de Puno con la variedad Salcedo INIA inoculada con mildiu y tratada con cepas de *Trichoderma*.

De las 100 accesiones evaluadas, 48 presentaron diferente grado de respuesta a 142 aislados, entre ellos la accesión RR.GG. 41 con reacción positiva específica a los aislados de Ayacucho, y la accesión RR.GG.09 con reacción específica positiva y 10 accesiones más con reacción positiva a los aislados de las otras regiones, que permiten seleccionarlos como posibles plantas indicadoras. Al respecto, Ochoa *et al.* (1999) señalaron que existen intentos para identificar la diversidad genética de *P. variabilis*, desde la búsqueda de grupos de virulencia y propuestas para la identificación de plantas diferenciales, al que abona el presente estudio.

En lugares con características agroclimáticas, similares a las de esta investigación, se puedan utilizar algunas de las doce accesiones como posibles plantas diferenciales indicadoras de la diversidad de *Peronospora variabilis* Gäum existentes en las zonas de producción de quinua del sur del Perú.

Conclusiones

De los ámbitos de estudio se logró seleccionar las accesiones de quinua procedentes del Banco de Germoplasma a los genotipos RR.GG.41 sólo para aislados de Ayacucho, RR.GG.09 para aislados de Apurímac, RR.GG.16 para aislados de Apurímac y Arequipa, RR.GG.57 para aislados de Puno y Apurímac, RR.GG.26 para aislados de Ayacucho y Apurímac, RR.GG.38 para aislados de Cusco y Arequipa, RR.GG.43 para aislados de Puno y Arequipa, RR.GG.76 para aislados de Cusco y Arequipa; y las accesiones de quinua RR.GG.11, RR.GG.22, RR.GG.55, RR.GG.64 para los 142 aislados de los cinco departamentos.

Literatura citada

- Alanoca, C. y Machaca, E. (2015). 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(5): 21-29.
- Alcón, G.V. y Bonifacio, A. (2018). Evaluación de las variables agronómicas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y calidad de grano con aplicación de niveles de estiércol ovino y urea. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. 5(1): 37-46.
- Apaza, J.D. (2014). *Caracterización y variabilidad de progenies S3 autofecundadas, procedentes de cruza simples genéticamente distantes y cercanas, en seis cultivares de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- Arapa, V. (2006). *Selección por rendimiento de grano y características deseables para procesamiento de genotipos de quinua Chenopodium quinoa Willd. Tolerantes a Mildiu Peronospora farinosa Fr.* Tesis de posgrado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Bioversity International (2013). *Descriptor para quinua y sus parientes silvestres*. https://www.bioversity-international.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/1630.pdf (Consultado el 3 de septiembre de 2021).
- Carbajal, M.C.A. (2019). *Comportamiento de once variedades comerciales de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en condiciones de Costa Central-La Molina*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Danielsen, S. y Ames, S.D. (2000). *El mildiu de la quinua en la zona andina. Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno*. <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/10/AN60198.pdf> (Consultado el 16 de septiembre de 2021).

- Danielsen, S. y Lübeck, M. (2010). Universal Primed -PCR indicates geographical variation of *Peronospora farinosa* ex. *Chenopodium quinoa*. *J Basic Microbiol.* 50(1): 104-109. <https://doi.org/10.1002/jobm.200900019>
- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzales L. y Tablada M.; Robledo C.W. *Infostat, versión 2018*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Esequiel, R. (2015). *Eficiencia de productos naturales en el control del mildiu (Peronospora farinosa) en quinua (Chenopodium quinoa Willd var. Altiplano) en el distrito de Baños del Inca*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2013). *Año Internacional de la quinua 2013, declaración del AIQ 2013*. http://www.fao.org/quinoa-2013/iyq/es/?no_mobile=1 (Consultado el 10 de septiembre de 2021).
- Gabriel, J.; Luna, N.; Vargas, A.; Magne, J.; Angulo, A.; La Torre, J. y Bonifacio, A. (2012). Quinua de valle (*Chenopodium quinoa* Willd.): Fuente valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa* Willd.). *Journal of the Selva Andina Research Society.* 3 (2): 27-44.
- Guevara, E.; Oliva, M. y Collazos, R. (2018). Comportamiento agronómico de ocho genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el distrito de Molinopampa, provincia Chachapoyas, Amazonas, 2017. *Revista de Investigación científica UNTRM.* 1(2): 63-71.
- León, B. (2016). *Biocontrol del mildiu (Peronospora variabilis Gäum.) de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) con cepas de Trichoderma sp. Con capacidad endofítica*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- León, P. (2020). *Caracterización morfológica y componentes de rendimiento de cien accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) procedentes de cuatro regiones del país*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú. El Mantaro, Perú.
- Mestanza, C.; Zambrano, K.; Pinargote, J.; Veliz, D.; Vásconez, M.; Fernández-García, N. y Olmos, E. (2019). Evaluación agronómica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones agroclimáticas en la zona de Mocache. *Ciencias Agrarias.* 12(1): 19-30. <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.299>
- MIDAGRI. (2019). *Plan Nacional de Cultivos. Campaña Agrícola 2019-2020*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf (consultado el 19 de enero de 2022).
- Mina, D.F. (2014). *Evaluación agronómica de líneas F5 de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), en dos localidades de la serranía. Ecuador*. Tesis de pregrado. Universidad central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Morillo-Coronado, A.C.; Castro-Roberto, M.A. y Morillo-Coronado, Y. (2017). Caracterización de la diversidad genética de una colección de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 15(2): 49-56. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)49-56](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)49-56)
- Ochoa, J.; Frinking, H.D. y Jacobs, T. (1999). Postulation of virulence groups and resistance factors in the quinoa/downy mildew pathosystem using material from Ecuador. *Plant Pathology.* 48(3): 425-430. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1999.00352.x>. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/62567>
- Rojas, W.; Pinto, M.; Alanoca, C.; Gómez, L.; León, P.; Alercia, A.; Diulgheroff, S.; Padulosi, S. y Bazile, D. (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/70603/Estado%20de%20la%20conservacion%20ex%20situ%20de%20los%20recursos%20geneticos%20de%20Quinua_1829.pdf?sequence=1&isAllowed=y (consultado el 10 de septiembre de 2021).
- Sangster, O.M. (2018). *Densidad poblacional en los caracteres agronómicos, calidad y respuesta al mildiu de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Torres, J.M. (2019). *Caracterización de poblaciones F3 provenientes de cruzamientos entre especies del género Chenopodium en condiciones de La Molina*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Wilca, J. (2013). *Manejo integrado en el cultivo de quinua*. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-d-quinua.pdf> (consultado el 8 de septiembre de 2021).

Zegarra, J.C. (2018). *La rentabilidad del cultivo de quina en diferentes periodos de siembra en la irrigación majes, durante la campaña 2016-2017*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.

Recepción: 05 de octubre 2021
Arbitraje: 28 de noviembre 2021
Dictamen: 16 de enero 2022
Aceptado: 02 de febrero 2022