







## Comportamiento agronómico de 81 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Perú

### Agronomic behavior of quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd) in Peru

Rigoberto Estrada-Zúñiga<sup>1\*</sup>   
Vidal Apaza-Mamani<sup>2</sup>   
Angel Agustín Pérez-Ávila<sup>3</sup>   
Ana María Altamirano-Pérez<sup>4</sup>   
Edgar Neyra-Valdez<sup>5</sup>   
Leidy G. Bobadilla<sup>6</sup> 

<sup>1</sup> Estación Experimental Agraria Andenes, Cusco, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Av. Micaela Bastidas N° 314 - 316, CP. 08630. Zurite, Anta, Cusco, Perú.

<sup>2</sup> Estación Experimental Illpa, Puno, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Rinconada Salcedo s/n Km. 22 Carretera Puno - Juliaca Paucarcolla. CP. 21110. Paucarcolla, Puno, Perú.

<sup>3</sup> Estación Experimental Santa Ana, Junín, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Carretera Saños Grande - Hualahoyo Km 8, CP. 12006. El Tambo, Huancayo, Junín, Perú.

<sup>4</sup> Estación Experimental Canaán, Ayacucho, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Av. Abancay N° 299, CP. 05003. Ayacucho, Huamanga, Perú.

<sup>5</sup> Unidad de Genómica, Universidad Peruana Cayetano Heredia. Av. Honorio Delgado 430, CP.15102. San Martín de Porres, Lima, Perú.

<sup>6</sup> Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario (DDTA), Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Av. La Molina, N° 1981, La Molina. Lima, Perú.

\* Autor de correspondencia:  
restrada@inia.gob.pe

#### Artículo científico

Recibido: 24 de septiembre 2021

Aceptado: 04 de febrero 2022

**Como citar:** Estrada-Zúñiga R, Apaza-Mamani V, Pérez-Ávila AA, Altamirano-Pérez AM, Neyra-Valdez E, Bobadilla LG (2022) Comportamiento agronómico de 81 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Perú. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(1): e3134. DOI: 10.19136/era.a9n1.3134

**RESUMEN.** La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es consumida a nivel mundial debido a su composición nutricional. Es importante conocer las características agronómicas que se ven influenciadas por las condiciones edafoclimáticas y evaluar el comportamiento agronómico de 81 genotipos de quinua del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) sembradas en las localidades de Cusco, Puno, Ayacucho y Junín, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Se evaluaron las variables: altura de planta, diámetro de panoja, longitud de panoja, rendimiento, severidad de infección de mildiu (*Peronospora farinosa*) e índice de selección (IS), en siembras del 2017 y 2018. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey, análisis de conglomerados, componentes principales, correlación de Pearson y la evaluación del índice de selección para identificar la adaptación de los genotipos. Los resultados mostraron que la siembra del 2018 tuvo los mayores rendimientos. El análisis de conglomerados encontró la formación de tres grupos, donde el grupo tres mostró las mejores características en rendimiento, altura de planta, diámetro y longitud de panoja. El análisis de componentes principales mostró correlaciones positivas entre variables altura de planta, diámetro y longitud de panoja. Más del 45% de los tratamientos mostraron un índice de selección mayor a uno y se identificaron 16 genotipos con nivel bajo de severidad de infección a mildiu. Las localidades de Cusco y Puno reportaron el mejor comportamiento agronómico para los 81 genotipos.

**Palabras clave:** Adaptación, conglomerado, fenotípico, índice de selección, rendimiento.

**ABSTRACT.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is consumed worldwide for its nutritional composition. It is important to know the agronomic characteristics that are influenced by edaphic and climatic conditions and to evaluate the agronomic performance of 81 quinoa genotypes from the National Institute of Agrarian Innovation (INIA) planted in four locations of Peru: Cusco, Puno, Ayacucho and Junín, under a randomized complete block experimental design with three replications. The following variables were evaluated: plant height, panicle diameter, panicle length, yield, severity of downy mildew infection (*Peronospora farinosa*) and Selection Index (SI), during the 2017 and 2018 plantings. The comparison of means was performed using Tukey's test, in addition, cluster analysis, principal components and Pearson's correlation were performed and the evaluation of the selection index was applied to identify the adaptation of the genotypes. The results showed that the 2018 planting had the highest yields. Cluster analysis found the formation of three groups, where group three showed the best characteristics in yield, plant height, diameter and panicle length. Principal component analysis showed positive correlations between plant height, diameter and panicle length variables. More than 45% of the treatments showed a selection index greater than one and 16 genotypes were identified with a low level of severity of downy mildew infection. Cusco and Puno reported the best agronomic performance for the 81 genotypes.

**Key words:** Adaptation, cluster, phenotypic, selection index, performance.

## INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta cultivada en zonas áridas y semiáridas de los Andes de América del Sur, su cultivo se ha extendido a nivel mundial (Bazile *et al.* 2016) debido a su extraordinaria tolerancia a condiciones ambientales desfavorables (Choukr-Allah *et al.* 2016). Como resultado de la mayor atención a este cultivo por sus propiedades nutricionales y el incremento de la demanda mundial, se incrementó la superficie cultivada y su producción en la región de los Andes (Gamboa *et al.* 2020). En Perú, la producción de quinua está en el orden de las 70 000 toneladas anuales desde el 2013 y para el 2019 la exportación de este cultivo alcanzó las 20 992 toneladas (MIDAGRI 2019). Se cultiva en 14 departamentos, siendo los que aportan los mayores volúmenes de producción Puno y Ayacucho con 38 900 y 21 200 toneladas, respectivamente (MIDAGRI 2017). Dentro de los factores que afectan la producción de quinua están las plagas, enfermedades y otros patógenos, siendo la enfermedad más importante el mildiú producido por *Peronospora variabilis*, que se ha incrementado de forma notable por la alta susceptibilidad de las variedades comerciales (León *et al.* 2018). Las zonas andinas debido a su alta humedad relativa, nubosidad y precipitación, favorecen la aparición de esta enfermedad (FAO 2016), que afecta el rendimiento y calidad del grano, además las variedades que actualmente se ofertan son de bajos rendimientos (Apaza 2018).

Un gran número de investigaciones han mostrado la amplia diversidad genética de la quinua (García-Godos y Cueva-Castillo 2021). Por lo que la selección de nuevas líneas, brinda la opción de que las características agronómicas de la planta lleguen a adaptarse a determinadas condiciones ambientales, convirtiéndola en un cultivo potencial para el sector agrícola (García *et al.* 2017). Por ello, es necesario que los programas de mejoramiento genético seleccionen nuevas variedades con características favorables de rendimiento, sanidad y adaptabilidad en beneficio de los productores y la oferta según las demandas del mercado (Morillo-Coronado *et al.* 2017). Trabajos como los de Mestanza *et al.* (2019)

analizaron las características agronómicas de los genotipos de quinua en condiciones de costa central de la zona de Mocache (Ecuador), destacando el genotipo 48 con 154.17 cm de altura de planta, el genotipo Faro 2 con el mayor peso de 1 000 semillas (2.58 g) y el mayor rendimiento el genotipo O-5 con 143.15 g por planta. Mientras que Guevara *et al.* (2018) reporta que en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) el genotipo Blanca de Junín tuvo el mayor rendimiento, altura y diámetro de panoja con 3815 kg ha<sup>-1</sup>, 189 cm y 60 cm, respectivamente. En tanto que Urdanegui *et al.* (2021) en la evaluación agromorfológica de 11 genotipos de quinua en Huanacayo, Perú; reportan que el genotipo CQH44H tuvo el mayor rendimiento de grano con promedio de 3 130.21 kg ha<sup>-1</sup>. Debido a la gran variabilidad de los genotipos de quinua es importante conocer las características agronómicas y la interacción genotipo ambiente para conocer la relación entre suelo, planta y clima (García-Parra y Plazas-Leguizamón 2018). Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo fue conocer las características agronómicas que se ven influenciadas por las condiciones edafoclimáticas y evaluar el comportamiento agronómico de 81 genotipos de quinua del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) sembradas en cuatro localidades del Perú.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del experimento

El experimento se realizó en cuatro (localidades) estaciones experimentales del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA): 1) Estación Experimental Agraria Illpa, ubicada en el distrito de Paucarcolla de la provincia de Puno, departamento de Puno a una altitud de 3 815 m, presenta suelos tipo Mollisol (Gobierno Regional de Puno 2014), temperatura promedio de 15.6 °C, precipitación de 3.8 mm día<sup>-1</sup>, y humedad relativa de 7.7% (SENAMHI 2021a). 2) Estación Experimental Agraria Andenes, ubicada en el distrito de Zurite de la provincia Anta, departamento de Cusco a una altitud de 3 390 msnm, temperatura promedio de 12.5 °C, precipitación de 3.3 mm día<sup>-1</sup>, humedad

relativa de 76.93% (SENAMHI 2021b), suelos profundos, arcillosos, ácidos y bosque húmedo Montano Subtropical (Gobierno Regional de Cusco 2016). 3) Estación Experimental Agraria Canaán, ubicada en el distrito de Ayacucho de la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho (2 740 m) con suelos de tipo Entisol (Gobierno Regional de Ayacucho 2012), temperatura promedio de 13 °C, precipitación de 7.78 mm día<sup>-1</sup>, y humedad relativa de 80.98% (SENAMHI 2021c). 4) Estación Agraria Experimental Santa Ana, ubicada en el distrito de El Tambo de la provincia de Huancayo departamento de Junín (3 260 m), predominancia de suelos arenosos y arcillosos (Gobierno Regional de Junín 2015), temperaturas promedio de 13.3 °C, precipitación de 3.4 mm día<sup>-1</sup> y humedad relativa de 56.07% (SENAMHI 2021d) (Figura 1).

### Genotipos de quinua evaluados

Se utilizaron 81 genotipos de quinua, obtenidos del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Innovación Agraria (Tabla 1). Que corresponden a 20 genotipos de Junín, 16 de Ayacucho, 27 de Puno y 18 de Cusco, predominan los genotipos de grano blanco (70), grano rojo (6) y cristalinos (5).

### Diseño y manejo del experimento

El experimento en cada estación se sembró bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, la evaluación se realizó durante las siembras del 2017 y 2018, la densidad de siembra fue de 10 kg ha<sup>-1</sup> y el nivel de fertilización de 80 unidades de nitrógeno, 60 de fósforo y 40 de potasio aplicado durante la siembra. Cada unidad experimental fue de 12.8 m<sup>2</sup> con un área total de 3 110 m<sup>2</sup> por sitio experimental, con una densidad promedio de 15 plantas por metro lineal equivalentes a 187 500 plantas por hectárea, el experimento se realizó en la campaña agrícola normal de producción en la zona andina del Perú entre los meses de octubre a junio, las siembras se realizaron según las condiciones ambientales de cada localidad de ubicación de la estación experimental bajo condiciones de precipitación para el caso de Puno fue en el mes

de octubre, en Cusco y Junín en el mes de noviembre y en Ayacucho en el mes de diciembre.

En todas las localidades el experimento fue bajo condiciones de secano con preparación mecanizada del terreno, no se realizó ninguna aplicación de fertilización foliar ni de pesticidas durante el desarrollo del cultivo. En madurez de cosecha se realizó el corte de forma manual de los dos surcos centrales por tratamiento realizando la trilla con una trilladora experimental, posteriormente la limpieza del grano se realizó con una seleccionadora experimental.

### Variables agronómicas evaluadas

Se evaluaron 10 plantas tomadas al azar (surcos centrales), midiendo las variables: Altura de planta, desde la base del tallo hasta el inicio de la panoja. Diámetro de panoja, con ayuda de un vernier tomando la parte más ancha de la panoja. Longitud de panoja, desde la base hasta el ápice de la misma teniendo en cuenta la panoja central y el rendimiento de quinua registrando el peso de grano trillado y limpio, con la ayuda de una balanza de precisión de marca ACU, modelo MACSOO6A/w con capacidad de 6 kg y lectura mínima de 0.01 g (Rojas y Padulosi 2013).

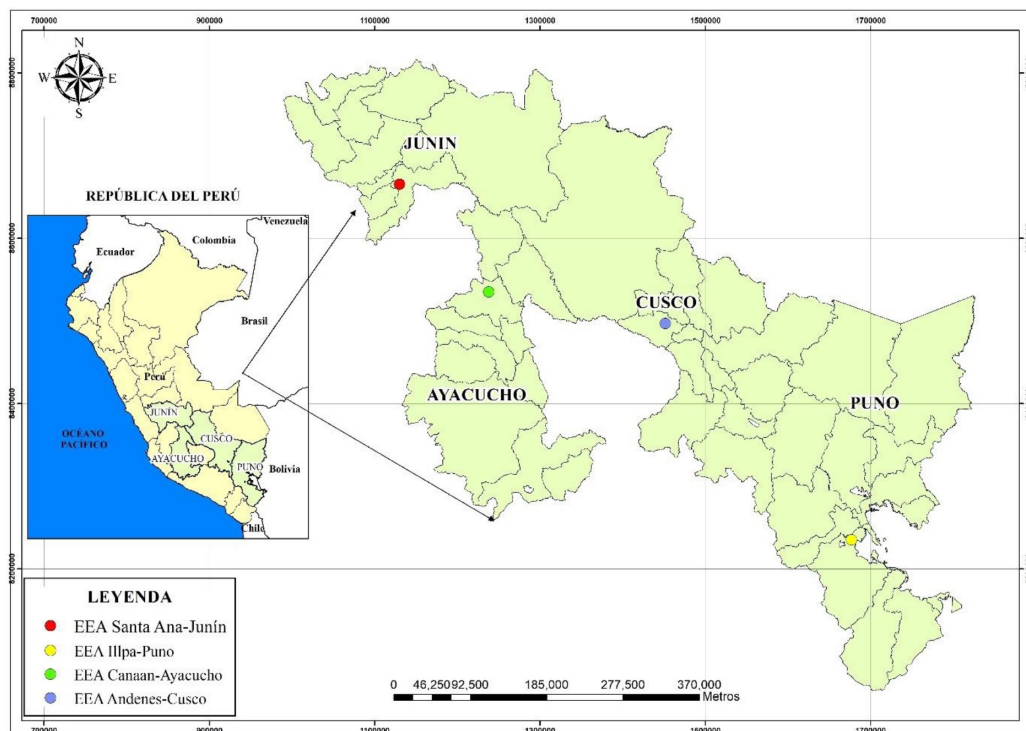
### Cálculo del índice de selección (IS)

El cálculo de los estimadores BLUP (best linear unbiased predictor) de los efectos aleatorios de los genotipos estudiados se realizó a través de una constante generada por el tamaño de la población (Muñoz y Gonzáles 2016).

$$IS_{(loc1)} = BLUP_{(loc1)} + K$$

Dónde: IS = Índice de Selección, BLUP = Estimador de los efectos aleatorios por localidad, y K = Valor constante generado por el número de localidades y tratamientos.

A través de la interacción genotipo x ambiente se observó el comportamiento diferencial de los genotipos en las condiciones ambientales variables. Esta interacción es muy importante en el mejoramiento genético, debido a que se encuentra presente durante el proceso de selección y recomen-



**Figura 1.** Ubicación de las Estaciones Experimentales Agrarias (EEA) donde se realizó la investigación.

dación de genotipos, para ello al encontrar diferencias estadísticas del análisis de varianza combinado de años, localidades y genotipos para las interacciones, se ha desarrollado predicciones de efectos aleatorios para estudio de estabilidad (BLUP) en base a la variable rendimiento y la influencia de las condiciones ambientales que genera el índice ambiental para la selección de los genotipos.

### Evaluación de severidad a infección a mildiu

Las evaluaciones de reacción a mildiu se desarrollaron mediante tres evaluaciones en campo a fin de identificar el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) utilizando la fórmula propuesta por Danielsén y Ames (2010):

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

Dónde: n es el número de evaluaciones, y es la severidad, 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.

### Análisis de datos

Se utilizó análisis exploratorios y estadística descriptiva de las variables agronómicas evaluadas. Se comprobó la normalidad de datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk entre localidades y entre tratamientos. Posterior a ello, se realizó un análisis de varianza para detectar diferencias significativas a nivel de tratamientos y sus interacciones con localidad y año. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para determinar diferencias significativas entre tratamientos. También se realizó un análisis de conglomerados para la formación de grupos y su respectivo análisis de varianza. Se realizó un análisis de componentes principales a fin de determinar las correlaciones existentes entre las variables de estudio. Además de que se calculó el índice de selección (IS) y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC). Los análisis se realizaron con el programa estadístico InfoStat v.2018p.

**Tabla 1.** Genotipos de quinua utilizados en la investigación.

Código	Denominación de genotipo	Código	Denominación del genotipo
1	M.28. L.6. T-197 03-21-112P (6.23)	52	M.39 L.6. T-261 03-21-115P (13.2)
2	M.19. L.6. T-86 Yunguyo Villa Pilar	53	M.5. L.6. T-22 10(97) 03-21-024P X 03-21-043P
3	CQA-023 Ayacucho	55	M.15 L.6 T-69 03-21-00011P (09)
5	CQA-024 Ayacuchano	56	M.29. L.6. T-200 K'coito Negro
6	CQA-016	57	M.14 L.6. T-61 Pomata Capachica
7	CQH-7 Huancas	58	INIA 415 - Pasankalla
8	Salcedo INIA	60	CQH-62 Sicaya
10	CQH-52 Vicso	61	M.37. L.6. T-226 Chullpi Amarillo
11	M.40 L.6. T-265 Misaquinua	62	M.23. L.6. T-98 Kuchiwila 2011
12	M.8. L.6. T-44 03-21-339P	63	Sucano Pilcuyo
13	Q 006-12 Blanca Ranra Cancha	65	Pomata (Capachica)
15	CQH-43 Huachac	66	Amarillo Maranganí
16	CQA-035 Ayacuchano	67	CQA-033 Ayacucho
17	M.13. L.6. T-60 Ccacata	68	M-18 L.6. T-77 03-21-003P
18	M.38 L.6. T-256 03-21-114P (261)	69	M.33 L.6. T-220 Chullpi Juli
20	CQH-INIA - 433	70	CQH-04(97) Puno
21	M.35. L.6. T-224 03-21-0004P (09) Chullpi Amarillo	71	M.31. L.6. T-211 Real Rosado Cabana
22	M.21 L.6. T-91 03-21-00039P(09) Lampa	72	M.22 L.6. T-93 Nicasio
23	Q 004-8 Rojo Chihuampata	73	M.9. L.6. T-51 Sucano Pilcuyo
25	M.2 L.6. T-13 80(99) 04-02-641 X 04-02-339	75	Q 003-6 Blanca Collopuquio
26	M.26 L.6. T-70 Pomata (Lampa Chico)	76	M.24 L.6. T-161 Wariponcho Cabana
27	M.11 L.6. T-55 Alquipa	77	Yunguyo (Chajillapi)
28	Blanca de Juli	78	M.16 L.6. T-70 Anicho
30	CQH-10 Acolla	80	CQH- Huancayo
31	M.34. L.6. T-223 03-21-0006P (99) Chullpi Blanca	81	M.36. L.6. T-225 Chullpi Rojo
32	M.20. L.6. T-90 03-21-00030P (09) Cabana	82	M.4. L.6. T-21, 47(99) 04-02-062 X 04-02-339
33	M.17. L.6. T-72 Huancayo	83	CQA-048 Ayacucho
35	CQH-19 Sincos Aramachay	85	CQA-043 Ayacucho
36	CQH-65 Orcutuna	86	INIA 427 - A marillo Sacaca
37	M.12 L.6. T-58 Alquipa	87	03-21-00039P (09) Pantela Roja Lampa
38	INIA 431 - Altiplano	88	Kancolla
40	CQH-29 Huayao	90	CQH-3 Jauja Aeropuerto
41	M.30. L.6. T-205 03-21-0003P (09) Chullpi Misti Cabana	91	M.32. L.6. T-212 03-21-013P (5.17)
42	M.10. L.6. T-52 Misti Quinua Cabana	92	CQH-2 Jauja Aeropuerto
43	M.3. L.6. T-15 47(99) 04-02-062 X 04-02-339	93	Blanca Junin
45	M.1 L.6. T-1 6(99) 04-02-062 X Ayacuchana	95	03-21-001 (4.5)
46	M.25. L.6. T-163 Wariponcho	96	M.27 L.6. T-182 Yunguyo Villa Pilar
47	M.7. L.6. T-40 46(99) Cheweca X Real Boliviana	97	CQA-027 Ayacucho
48	CQH- Hualhuas	98	INIA 420 - Negra Collana
50	CQH-16 Sincos	100	CQH-44 Huachac
51	M.6. L.6. T-29 45(99) Cheweca X 04-02-339		

## RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los promedios obtenidos de las variables evaluadas por localidad (departamento). En Puno se tuvo los valores más altos para altura de planta, diámetro de panoja y rendimiento con  $1.51 \pm 0.20$  m,  $8.96 \pm 2.20$  cm y  $2.75 \pm 0.99$  t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza indican que, para las fuentes de variación año, localidades, repeticiones, año por localidad y año por localidad por tratamiento hay diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.0001$ ). Lo que indica diferencias en el

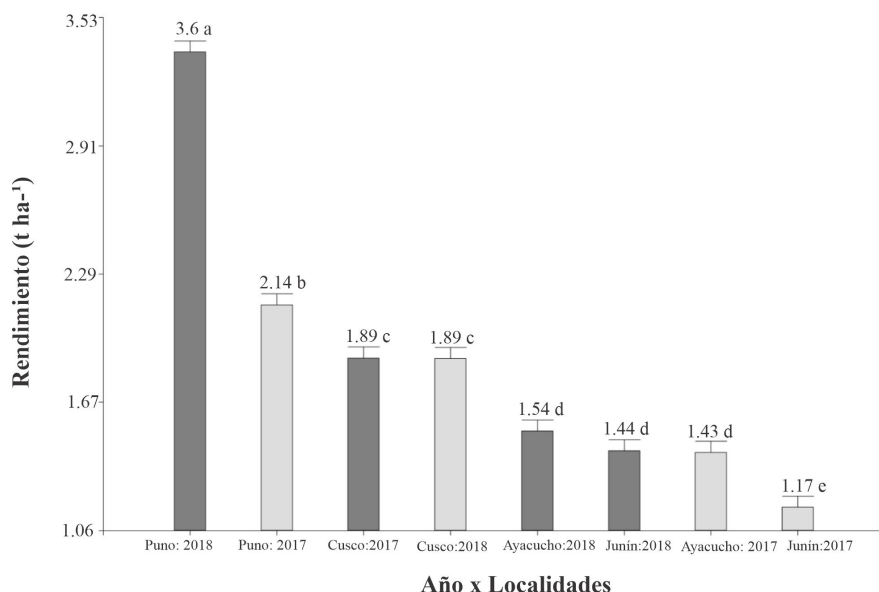
comportamiento y respuesta del material genético en los diferentes años y localidades en los que fueron evaluados. A nivel de los años de siembra se encontró que durante el ciclo agrícola 2017-2018 los resultados obtenidos son superiores estadísticamente ( $P \leq 0.0001$ ) a los encontrados en el ciclo agrícola 2016-2017 para las variables rendimiento, altura de planta, longitud y diámetro de panoja. El rendimiento promedio de los dos ciclos de siembra evaluados en Puno fue de  $2.75$  t ha<sup>-1</sup>, valor que es estadísticamente diferente y superior a los promedios que se lograron obtener en las demás localidades con rendimientos inferiores a las  $2.00$  t ha<sup>-1</sup> (Figura 2).



**Tabla 2.** Comparación entre localidad por variable estudiada (media y desviación estándar).

Localidad	Altura de planta (m)	Longitud de panoja (cm)	Diámetro de panoja (cm)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Puno	1.51 ± 0.20 <sup>a</sup>	34.77 ± 4.64 <sup>b</sup>	8.96 ± 2.20 <sup>a</sup>	2.75 ± 0.99 <sup>a</sup>
Cusco	1.50 ± 0.28 <sup>a</sup>	40.58 ± 7.37 <sup>a</sup>	8.17 ± 2.35 <sup>b</sup>	1.89 ± 1.00 <sup>b</sup>
Ayacucho	1.34 ± 0.32 <sup>b</sup>	35.91 ± 8.84 <sup>b</sup>	8.25 ± 2.33 <sup>b</sup>	1.48 ± 0.83 <sup>c</sup>
Junín	1.19 ± 0.32 <sup>c</sup>	33.12 ± 6.76 <sup>c</sup>	8.62 ± 3.86 <sup>ab</sup>	1.30 ± 0.74 <sup>d</sup>
	F = 142.32 P = 0.0001	F = 275.81 P = 0.0001	F = 207.67 P = 0.0001	F = 207.52 P = 0.0001

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias altamente significativas ( $p < 0.0001$ ).



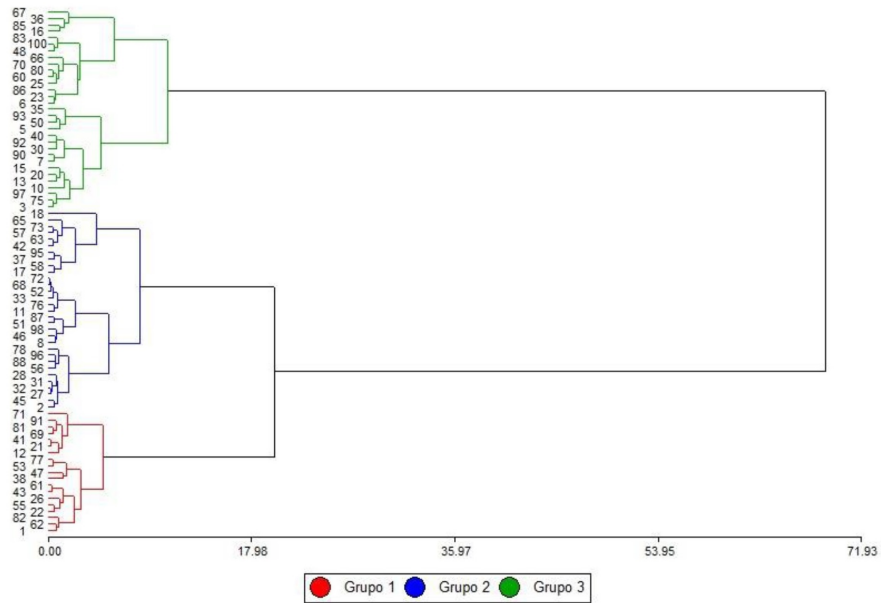
**Figura 2.** Prueba de comparación de medias para rendimiento de localidades por año.

El análisis de conglomerados clasificó en tres grupos a las características agronómicas de quinua, estando el grupo uno formado por 19 genotipos, y los grupos dos y tres por 31 genotipos cada uno (Figura 3). Según el análisis de varianza, todas las variables agronómicas como altura de planta, longitud de panoja y diámetro de panoja, presentan diferencias significativas ( $P \leq 0.001$ ), lo que indica que fueron variables determinantes en la formación de los grupos. El grupo tres presenta las mejores características con respecto a rendimiento, altura de planta, diámetro de panoja y longitud de panoja con  $2.27 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $1.57 \text{ m}$ ,  $9.96 \text{ cm}$  y  $39.35 \text{ cm}$ , respectivamente (Tabla 3).

El Análisis de Componentes Principales (ACP), con su primer eje (PC1) logró explicar 75.8% de la variabilidad de los datos, y el segundo componente

principal (PC 2) explicó 9.7% de la variabilidad (Figura 4), lo que indica que los primeros dos CP explican el 55.5% de la variabilidad. El ACP separó a los genotipos en tres grupos, siendo el grupo tres el que presenta las mejores características con respecto a las variables altura de planta, diámetro de panoja, longitud de panoja y rendimiento.

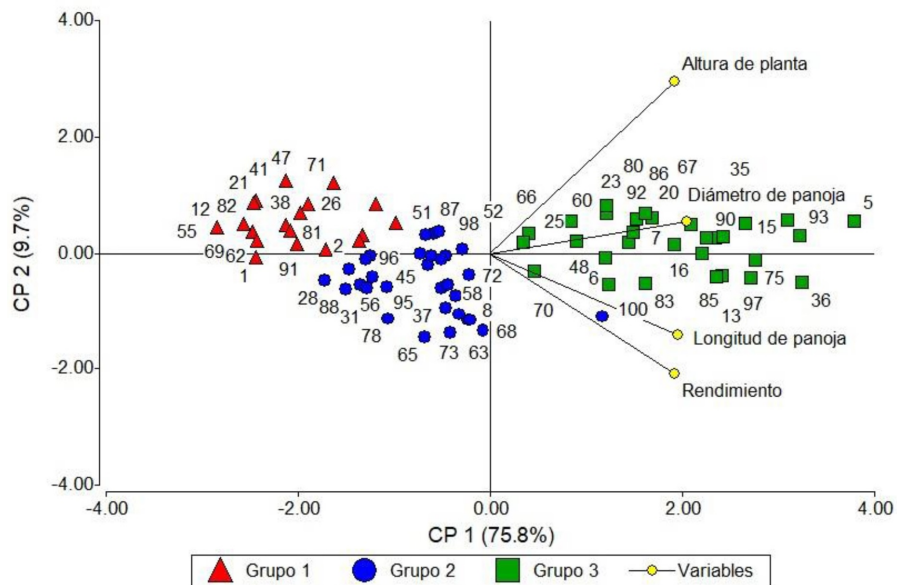
Por otro lado, la correlación (Pearson,  $P \leq 0.0001$ ), para las variables cuantitativas fue altamente significativa, mostrando que las variables altura de planta, longitud de panoja y diámetro de panoja se correlaciona de forma positiva con el rendimiento ( $0.63^{**}$ ,  $0.66^{**}$  y  $0.69^{**}$ , respectivamente; Tabla 4), lo que indica que, a mayor altura de planta, se tiene mayor longitud de panoja y mayor diámetro de panoja, lo que incrementa el rendimiento del genotipo de quinua.



**Figura 3.** Conglomerados. Método de Ward (18: 3 grupos). Distancia Euclídea.

**Tabla 3.** Análisis de varianza de conglomerados para características agronómicas de 81 genotipos de quinua.

Grupos	Rendimiento	Altura de planta (m)	Diámetro de panoja (cm)	Longitud de panoja (cm)	Total de genotipos
1	1.29 <sup>c</sup>	1.27 <sup>b</sup>	7.26 <sup>c</sup>	31.01 <sup>c</sup>	19
2	1.79 <sup>b</sup>	1.26 <sup>b</sup>	7.80 <sup>b</sup>	35.95 <sup>b</sup>	31
3	2.27 <sup>a</sup>	1.57 <sup>a</sup>	9.96 <sup>a</sup>	39.35 <sup>a</sup>	31
	F = 142.32	F = 275.81	F = 207.67	F = 207.52	
	P = 0.0001	P = 0.0001	P = 0.0001	P = 0.0001	



**Figura 4.** Análisis de componentes principales de 81 genotipos de quinua.

**Tabla 4.** Correlación de Pearson para variables evaluadas.

	Rendimiento	Altura de planta	Longitud de panoja	Diámetro de panoja
Rendimiento	1			
Altura de planta	0.63**	1		
Longitud de panoja	0.66**	0.63**	1	
Diámetro de panoja	0.69**	0.73**	0.73**	1

Al realizar las pruebas del IS, se encontró que la productividad está influenciada por los diferentes genotipos en estudio, la franja roja de la Figura 5 muestra el promedio del efecto ambiental. En muchos casos, algunos genotipos de quinua presentan mayor grado de asociación entre el rendimiento y el índice de Selección. El índice de selección frente al rendimiento para los genotipos por localidades de procedencia fue IS = 1.05 para la localidad de Ayacucho, IS = 1.45 para la localidad de Cusco, IS = 0.87 para la localidad de Junín, IS = 2.31 para Puno.

Los resultados de la reacción a mildiu se muestran en la Figura 6 y Tabla 5, donde se observa que 16 genotipos de quinua tuvieron bajos niveles de severidad de infección a mildiu con rango de 559.84 hasta 1 170.78 unidades AUDPC, lo que indica que estos genotipos tienen resistencia a la enfermedad, por lo que se pueden considerar como progenitores en programas de mejoramiento de quinua para resistencia a mildiu.

## DISCUSIÓN

De acuerdo a las características agronómicas evaluadas en los genotipos de quinua las localidades mostraron diferencias entre ellas, asociado a los mecanismos de adaptación de los genotipos estudiados, ya que provienen de condiciones agroclimáticas propias de la zona (Mestanza *et al.* 2019). Las mayores alturas de planta ( $1.51 \pm 0.20$ ) se encontraron en la localidad de Puno (3 815 m), probablemente debido a las condiciones de temperatura, humedad relativa, precipitación y propiedades físico químicas del suelo que fueron favorables en los dos ciclos de evaluación (García y Plazas 2018). Además, de que la altura depende de las características genéticas propias de cada variedad que determi-

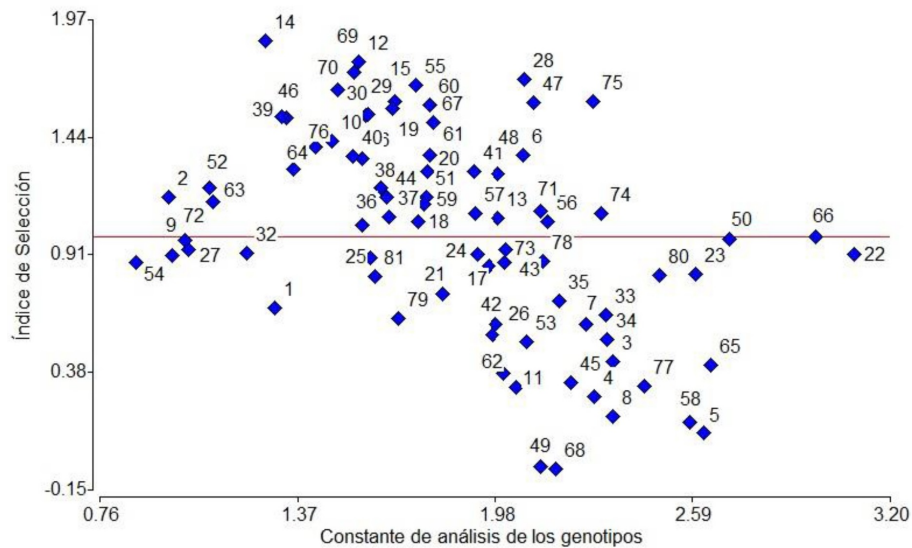
nan el desarrollo de la planta y la pueden proveer de mayor eficiencia en la captación de la radiación solar, nutrientes y agua (Onofre y Bonifacio 2021).

En Puno en los dos ciclos de siembra se tuvieron los mejores rendimientos, lo que se puede deber a que las condiciones de precipitación anual acumulada en el altiplano de acuerdo los reportes de precipitación acumulada del SENAMHI de la Estación Convencional Meteorológica Puno (2021) que fue de 480 mm mientras que en valles interandinos fue superior a 500 mm. Al respecto, se sabe que las condiciones climáticas influyen en la producción y rendimiento de la quinua, siendo los niveles óptimos para un mejor desarrollo una precipitación de 700 mm (Carrasco 2016). Otro factor que puede estar asociado al rendimiento de quinua en las localidades evaluadas es el resultado de un manejo tradicional de cultivo (Cancino-Espinoza *et al.* 2018).

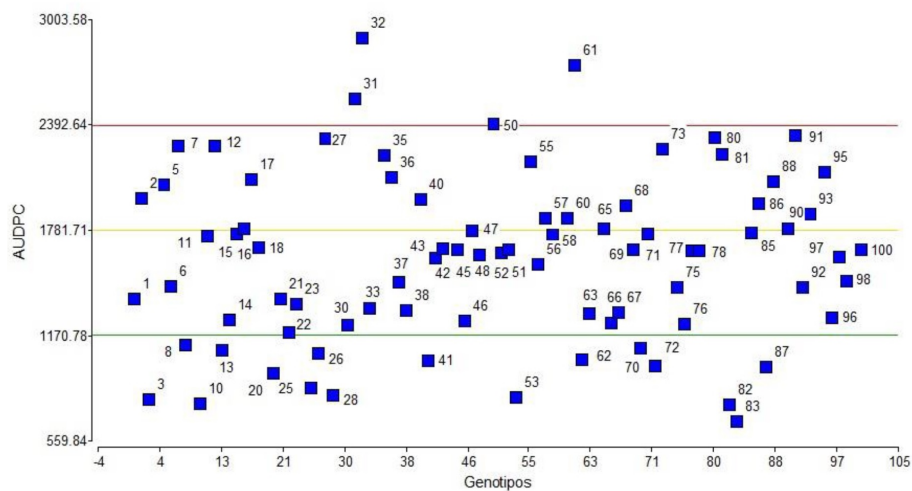
Las variables agronómicas permitieron la formación de tres grupos, lo que coincide con lo reportado por Morillo *et al.* (2020) quienes también reportan la formación de tres grupos en la evaluación morfoagronómica de 19 genotipos de quinua en Colombia. El grupo 2 presentó los promedios más altos de las variables evaluadas, estando presente en este grupo los genotipos INIA 415 Pasankalla, Kancolla, Salcedo INIA e INIA 420 Negra Collana, con altura promedio de 1.26 m, valor que es superior a los 93.39 cm reportados por Churra *et al.* (2019) para el genotipo INIA 415 Pasankalla, en condiciones de la localidad de Puno. Esta variación para la altura de planta se sabe que depende de la variedad y las condiciones ambientales de la localidad de cultivo (Benique 2019). Lo que indica que las condiciones ambientales de las localidades de evaluación tuvieron interacción con el genotipo evaluado.

Las correlaciones positivas significativas encontradas son similares a las reportados por Romero-





**Figura 5.** Interacción de genotipo ambiente para los 81 genotipos de quinua en cuatro localidades.



**Figura 6.** Identificación de genotipos de quinua por su reacción a mildiu.

Félix *et al.* (2018) quienes mencionan que la altura planta, longitud de panoja, diámetro de panoja y rendimiento, se correlacionan de forma positiva con el rendimiento de semilla. Por lo que la selección de genotipos con los mayores valores en estas variables es de suma importancia en los programas de mejoramiento de quinua para la selección de variedades con componentes de rendimiento que contribuyan a incrementar la productividad del cultivo de quinua, (Morillo *et al.* 2020). Para el índice de selección se observa que los genotipos de quinua de los valles

interandinos (Cusco, Ayacucho y Junín) tuvieron influencia del ambiente, mientras que en los genotipos procedentes del altiplano (Puno) presentan mejor estabilidad (Apaza 2018), por lo que, existen genotipos en los cuales el efecto del índice de selección es menor al promedio general encontrado en el análisis. Los índices de selección de los genotipos estudiados en las cuatro localidades fueron superiores a uno, los cuales son mayores que los reportados por Delgado *et al.* (2009), quienes encontraron índices de selección entre -1.79 y 0.96, lo que indica que

**Tabla 5.** Genotipos de quinua seleccionados por su sanidad y rendimiento.

Código	Denominación del genotipo
3	CQA-023 Ayacucho
8	Varietal Salcedo INIA
10	CQH-52 Vicso
13	Q 006-12 Blanca Ranra Cancha
20	CQH-INIA - 433
25	M.2 L.6. T-13 80(99) 04-02-641 X 04-02-339
26	M.26 L.6. T-70 Pomata (Lampa Chico)
28	Varietal Blanca de Juli
41	M.30. L.6. T-205 03-21-0003P (09) Chullpi Misti Cabana
53	M.5. L.6. T-22 10(97) 03-21-024P X 03-21-043P
62	M.23. L.6. T-98 Kuchiwila 2011
70	CQH-04(97) Puno
72	M.22 L.6. T-93 Nicasio
82	M.4. L.6. T-21. 47(99) 04-02-062 X 04-02-339
83	CQA-048 Ayacucho
87	03-21-00039P(09) Pantela Roja Lampa

los genotipos evaluados en la presente investigación tienen una amplia adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales (Mestanza *et al.* 2019). Lo cual indica que dentro de los genotipos evaluados hay genotipos que pueden responder de forma positiva en cualquier ambiente que se siembren.

Con respecto a la severidad a infección a mildiu se identificaron 16 genotipos con bajos niveles de severidad. Lo que indica que la mayor parte de genotipos evaluados presenta niveles de severidad alto, lo que se puede deber a que no se aplicó ningún tratamiento para el control de Mildiu. Lo cual coincide con León *et al.* (2018) quienes encontraron valores de 615.7 hasta 759 en Salcedo INIA con aplicación de *Trichoderma* sp. nativa en Puno. Mientras que Tejada (2020) reportó que el comportamiento de las accesiones de quinua y su reacción a mildiu, están asociadas a las condiciones ambientales y la variabilidad de la precipitación y temperatura que se presenta durante el desarrollo fenológico del cultivo. Lo anterior indica que los genotipos con bajos niveles de severidad, pueden ser utilizados para programas de conservación y mejoramiento genético a fin de

garantizar la seguridad alimentaria en tierras de andenes peruanos (Gómez-Pando *et al.* 2019).

## CONCLUSIONES

Se encontró alta influencia del ambiente en el comportamiento de los genotipos estudiados, por lo que algunos genotipos mostraron interacción en cuanto a su comportamiento particular a cada uno de las localidades. El Índice de Selección detectó que más del 45% de los tratamientos tuvieron un IS mayor a uno, lo que indica la se tienen genotipos de quinoa apropiados para ser utilizados como parentales en los programas de mejoramiento genético de quinua. Con respecto, a la reacción a mildiu sobresalen 16 genotipos de quinua que muestran un bajo nivel de severidad al mildiu.

Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) a través del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) Contrato 031-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE.

## LITERATURA CITADA

- Apaza JD (2018) Selección de líneas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Puno, Perú. Revista de Investigaciones de la Escuela de Postgrado 7: 422-432.
- Bazile C, Pulvento C, Verniau A, Al-Nusairi MS, Ba D, Breidy J, Hassan L, Mohammed MI, Mambetov O, Otambekova M, Sepahvand NA, Shams A, Souici D, Miri K, Padulosi S (2016) Worldwide evaluations of quinoa:

- preliminary results from postinternational year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-18. DOI: 10.3389/fpls.2016.00850
- Benique E (2019) Impacto del cambio climático en el rendimiento de la producción de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en la región-Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 21: 100-110.
- Choukr-Allah R, Rao NK, Hirich A, Shahid M, Alshankiti A, Toderich K, Gill S, Rahman KU (2016) Quinoa for marginal environments: Toward future food and nutritional security in MENA and Central Asia Regions. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-11. DOI: 10.3389/fpls.2016.00346
- Cancino-Espinoza E, Vásquez-Rowe I, Quispe I (2018) Organic quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) production in Peru: Environmental hotspots and food security considerations using Life Cycle Assessment. *Science of The Total Environment* 637-638: 221-232.
- Carrasco F (2016) Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, periodo 1997-2014. *Comuni@cción* 7: 38-47.
- Churra E, Mujica A, Haussmann B, Smith K, Flores S, Florez AL (2019) Caracterización agronómica de la progenie de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de cruces simples autofecundados cercanos y distantes. *Ciencia e Investigación Agraria* 46: 154-165.
- Danielsen S, Ames T (2010) El Mildiu de la Quinua en la zona andina. Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno. Centro Internacional de la papa. Dinamarca. 38p. <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/10/AN60198.pdf>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2021.
- Delgado AI, Palacios JH, Betancourt C (2009) Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía Colombiana* 27: 159-167.
- FAO (2016) Guía de identificación y control de las principales plagas que afectan a la quinua en la zona andina, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago, Chile. 92 p. <http://www.fao.org/3/i5519s/i5519s.pdf>. Fecha de consulta: 9 de abril de 2021.
- Gamboa C, Bojacá CR, Schrevels E, Maertens M (2020) Sustainability of smallholder quinoa production in the Peruvian Andes. *Journal of Cleaner Production* 264: 1-12. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121657.
- García-Godos P, Cueva-Castillo JM (2021) Variabilidad genética de 29 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) peruana mediante marcadores AFLP y análisis multivariante. *Scientia Agropecuaria* 12: 57-64.
- García MA, García JF, Melo DI, Deaquiz YA (2017) Respuesta agronómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad dulce de Soracá a la fertilización en Ventaquemada-Boyacá. *Cultura Científica* 15: 66-77.
- García-Parra MA, Plazas-Leguizamón NZ (2018) La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en los sistemas de producción agraria. *Revista Producción + Limpia* 13: 112-119.
- Guevara, EF, Oliva M, Collazos S (2018) Comportamiento agronómico de ocho genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el distrito Molinopampa, provincia Chachapoyas, Amazonas, 2017. *Revista de Investigación Científica UNTRM* 2: 63-71.
- Gobierno Regional de Ayacucho (2012) Zonificación ecológica y económica Ayauchu. Gobierno Regional de Ayacucho. Perú 289p.
- Gobierno Regional de Cusco (2016) Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincial de Anta. Gobierno Regional de Cusco. Cusco, Perú. 188p.

- Gobierno Regional de Junín (2015) Memoria descriptiva zonificación ecológica y económica del departamento de Junín a nivel meso y escala 1:100000. Gobierno Regional de Junín, Perú. 385p.
- Gobierno Regional de Puno (2014) Estudio de suelos y capacidad de uso mayor (departamento de Puno). Gobierno Regional de Puno, Perú. 136p.
- Gómez-Pando LR, Aguilar-Castellanos E, Ibáñez-Tremolada M (2019) Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Breeding. In: Al-Khayri J, Jain S, Johnson D (eds) *Advances in plant breeding strategies: Cereals*. Springer, Cham, Switzerland. pp: 259-316.
- León B, Ortiz N, Condori N, Chura E (2018) Cepas de *Trichoderma* con capacidad endofítica sobre el control de mildiu (*Peronospora variabilis* Gäm.) y mejora del rendimiento de quinua. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 20: 19-30.
- Mestanza C, Zambrano K, Pinargote J, Veliz D, Vásconez G, Fernández-García N, Olmos E (2019) Evaluación agronómica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones agroclimáticas en la zona de Mocache. *Ciencias agrarias* 12: 19-30.
- MIDAGRI (2017) Perú se mantiene como primer productor y exportador mundial de quinua, superando a Bolivia. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Perú. <https://www.midagri.gob.pe/portal/noticias-antiores/notas-2017/20566-peru-se-mantiene-como-primer-productor-y-exportador-mundial-de-quinua-superando-a-bolivia>. Fecha de consulta: 8 de abril de 2021.
- MIDAGRI (2019) Boletín estadístico mensual "El agro en cifras" 2019. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Perú. <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras>. Fecha de consulta: 8 de abril de 2021.
- Morillo AC, Manjarres EH, Morillo Y (2020) Evaluación morfoagronómica de 19 materiales de *Chenopodium quinoa* en el departamento de Bocayá. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 18: 84-96.
- Morillo-Coronado AC, Castro-Roberto MA, Morillo-Coronado Y (2017) Caracterización de la diversidad genética de una colección de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 15: 49-56.
- Muñoz R, González C (2016) Guía práctica de evaluación genética animal con virtual blup. Servicios Informáticos y Tecnologías Web, E.I.R.L. Villarrica, Chile. 80p.
- Onofre XM, Bonifacio A (2021) Evaluación de las características fenológicas y agronómicas de la quinua silvestre (*Chenopodium quinoa* spp.) del altiplano boliviano. *Revista de investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 8: 7-20.
- Rojas W, Padulosi S (2013) Descriptores para quinua y sus parientes silvestres. 1era. edición. Bioversity International. Roma, Italia. 64p.
- Romero-Félix CS, López-Castañeda C, Kokashi-Shibata J, Martínez-Rueda CG, Martínez-Rueda CG, Aguilar-Rincón VH (2018) Ambiente y genotipo: Efectos en el rendimiento y sus componentes, y fenología en frijol común. *Acta Universitaria* 28: 20-32.
- SENAMHI (2021a) Datos hidrometeorológicos a nivel nacional. Estación Convencional Meteorológica Puno. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2021.
- SENAMHI (2021b) Datos hidrometeorológicos a nivel nacional. Estación Convencional Meteorológica Granja Kayra. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2021.

- SENAMHI (2021c) Datos hidrometeorológicos a nivel nacional. Estación Convencional Meteorológica Chilcayoc. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2021.
- SENAMHI (2021d) Datos hidrometeorológicos a nivel nacional. Estación Convencional Meteorológica Santa Ana. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>. Fecha de consulta: 10 de abril de 2021.
- Tejada TN (2020) Nueva variedad de “quinua” *Chenopodium quinoa* Wild. (Chenopodiaceae) para la sierra norte del Perú con características agronómicas y comerciales sobresalientes. *Arnaldoa* 27: 751-768.
- Urdanegui P, Pérez-Ávila A, Estrada-Zúñiga R, Neyra E, Mujica A, Corredor FA (2021) Rendimiento y evaluación agromorfológica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Huancayo, Perú. *Agroindustrial Science* 11: 63-71