

# Chenopodium quinoa Willd.: un cultivo resiliente al cambio climático en regiones altoandinas del Perú

## Chenopodium quinoa Willd.: A crop resilient to climate change in the high Andean regions of Peru

Arlitt Amy Lozano-Povis<sup>1\*</sup>, Betzi Liliana Povis-Condori<sup>2</sup>, Ana Flor Zaravia-Povis<sup>3</sup>, Kevin Percy Ccoyllar-Quintanilla<sup>3</sup>

1 Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Química. Huancayo, Perú.  
2 Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Educación. Huancayo, Perú.  
3 Universidad Continental de Ciencias e Ingeniería. Huancayo, Perú.



**Citar como:** Lozano-Povis et al. (2023). «Chenopodium quinoa Willd.: un cultivo resiliente al cambio climático en regiones altoandinas del Perú». *South Sustainability*, 4(2) e079. DOI: 10.21142/SS-0402-2023-e079

Artículo recibido: 12/5/2023  
Revisado por pares  
Artículo aceptado: 8/6/2023

El presente manuscrito fue seleccionado y presentado en el evento «Diálogos académicos: aportes de la ciencia a nuestro desafío climático, 4.ª ed.» (noviembre de 2022), organizado por el Ministerio del Ambiente (Minam) y el Grupo Impulsor de Acción Climática de la Academia.



© Los autores, 2023. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

\* E-mail de correspondencia:  
aalozano@uncp.edu.pe

### RESUMEN

El cambio climático favorece al incremento de factores de estrés ambiental, como la mayor salinidad y el aumento de la sequía. Este escenario debilita la resiliencia de las plantas, ya sea por la afectación a su estructura o por el impacto al ecosistema en el que habitan. En ese sentido, numerosos cultivos han encontrado el modo de adaptarse; entre ellos, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). El presente manuscrito brinda propuestas para un mejor análisis y preservación de este cultivo, como la inclusión de una mayor cantidad de variables bioclimáticas en la determinación de zonas óptimas para su desarrollo, y la combinación de modelos integrados de cultivos, estructura, evolución, mapeo de material genético, tipos de suelo, que permitan a las comunidades seleccionar variedades que se adapten a estas condiciones.

**Palabras clave:** agricultura sostenible, adaptación climática, modelos de circulación, estrés ambiental, diversificación de cultivos

### ABSTRACT

Climate change favors environmental stress factors such as increased salinity and drought, which weaken plants' resilience by affecting their structure or the ecosystem that they inhabit. However, many crops have found ways to adapt, including quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). This article presents proposals for improved analysis and preservation of this crop, such as the inclusion of a greater number of bioclimatic variables in the determination of optimal zones for its development, and the combination of integrated crop models, structure, evolution, mapping of genetic material and soil types, which would enable communities to select varieties that are adapted to certain conditions.

**Keywords:** Sustainable agriculture, climate adaptation, circulation models, environmental stresses, crop diversification



## Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una especie de la familia Amaranthaceae, originaria de regiones andinas (Filho *et al.*, 2017); posee un gran potencial agronómico y sus semillas tienen altos niveles de proteína, ácido ascórbico y minerales, como fósforo y potasio, por lo que es usada en la producción de nuevos alimentos como pastas o barras energéticas (Romano y Ferranti, 2019). Según estas características, se encuentra clasificada como pseudocereal, porque tiene propiedades y usos similares a los de cualquier cereal (Morales *et al.*, 2020), lo que le ha permitido un buen posicionamiento en el mercado nacional e internacional (Schmidt *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2019).

El Perú es el mayor productor mundial de quinua, seguido de Bolivia, y juntos representan el 80 % de la producción total (ILO, 2017). Su rápido desplazamiento estuvo asociado al incremento de la demanda mundial, lo que se tradujo en la expansión de la superficie cultivada en la región productora tradicional, así como en las regiones costeras peruanas (Bedoya-Perales *et al.*, 2018). Por otro lado, su variabilidad genética le ha permitido desarrollarse desde los 40°S hasta los 2°N de latitud, desde climas fríos característicos de regiones altoandinas hasta condiciones subtropicales (Jacobsen, 2006) y tolerar rangos de precipitación que pueden variar desde 300 a 1000 mm anuales, lo que resulta fundamental para la etapa de llenado de semillas (Maestro *et al.*, 2022).

Las especies vegetales son afectadas por la sequía durante el proceso de fotosíntesis, ya que provoca la interrupción del funcionamiento de los orgánulos celulares, la disposición de las membranas tilacoides y la cadena de transporte de electrones (Manaa *et al.*, 2021). A diferencia de estas, la quinua es capaz de compensar su cierre estomático mejorando y manteniendo una alta eficiencia en el uso del agua de las hojas (Vacher, 1998).

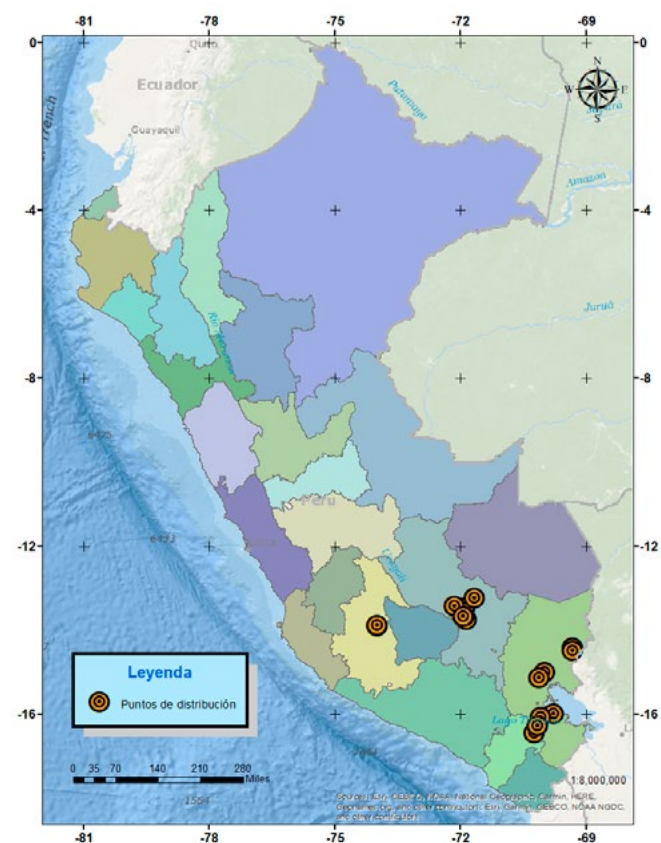
Respecto al estrés salino, este no ha sido un factor limitante para el desarrollo de este cultivo, sino que conduce a mejores tasas de crecimiento (Sanchez *et al.*, 2006). Considerando los modelos actuales de cambio climático, se espera que las tierras bajo salinización aumenten durante este siglo (Fedoroff *et al.*, 2010), especialmente en regiones donde se ha pronosticado o ya está ocurriendo una disminución drástica de los eventos de precipitación (Ruiz-Carrasco *et al.*, 2011). Se aguarda que este cultivo logre establecerse en estos lugares sin inconveniente alguno, confirmando así su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas (Filho *et al.*, 2017; Romano y Ferranti, 2023).

En ese sentido, muchas de las estrategias de adaptación al cambio climático van desde la modificación en las prácticas de cultivo, el desarrollo de nuevas variedades, hasta la modificación del consumo de alimentos. Por ejemplo, en los Andes peruanos las prácticas agrícolas

han permitido la conservación de la agrobiodiversidad, aunque la fluctuación de la temperatura terrestre, el cambio de los patrones de lluvia y el aumento del deshielo de los glaciares constituyen retos para la adaptación de estos sistemas (Lennox y Gowdy, 2014). Finalmente, los recientes avances en genómica y agronomía contribuyen en la reducción de impactos en la producción de alimentos (Anderson *et al.*, 2020).

## Enfoque y discusión

En general, la zona andina es muy sensible al cambio climático, y susceptible a problemas sociales y ecológicos que afectan principalmente al sector agrícola, criterio considerado para la selección del área de estudio en esta investigación (Blackmore *et al.*, 2021). Es así que las zonas más idóneas para el desarrollo de *Chenopodium quinoa* Willd. son los departamentos de Puno, Apurímac, Ayacucho y Cusco (figura 1).



**Figura 1.** Mapa de distribución de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Los puntos fueron extraídos de las bases de datos Naturalist y Herbarist (2021).

Respecto a la evaluación de los efectos del cambio climático en el cultivo de la quinua en relación con los escenarios de concentración representativa (RCP) 2.6: escenario de emisiones bajas de CO<sub>2</sub>, RCP 4.5: escenario de emisiones medias de CO<sub>2</sub> y RCP 8.5: escenario de emisiones altas de CO<sub>2</sub>, las regiones más adecuadas para la productividad de este cultivo se encuentran en Puno, Cusco y Apurímac (RCP 2.6 y 4.6); y las mejoras en la

extensión geográfica del cultivo se dan en el escenario RCP 8.5, pese a la ocurrencia de sequías (Ccoyllar *et al.*, 2021). Esto significa que, en comparación con el mapa de distribución actual, el cultivo de la quinua no pierde áreas de extensión geográfica de manera significativa, aun si se considera el escenario más adverso.

Según el modelo de idoneidad, las variables que presentaron una correlación positiva fueron la temperatura y la precipitación. Debe entenderse que un mapa de idoneidad se desarrolla con propósitos y programas diferentes. Por ejemplo, AquaCrop permite evaluar el impacto del abastecimiento de agua en los cultivos, DIVA-GIS permite elaborar mapas de distribución geográfica de un cultivo y a su vez extraer datos climáticos, entre otros (Peter *et al.*, 2020). Así, el rango de temperatura óptimo se encuentra entre los 20 y 22 °C, con una probabilidad predicha de 0,75 en la producción (Ccoyllar *et al.*, 2021).

Estos resultados son respaldados por Ahmadi *et al.* (2019), quienes señalan que el sistema fisiológico específico de la quinua permite la transpiración continua y un mejor enfriamiento de las hojas a altas temperaturas, de modo que optimiza el uso del agua y garantiza su crecimiento y rendimiento en áreas cálidas y semiáridas. Del mismo modo, Hussain *et al.* (2018) señalan que comprender las respuestas adaptativas y el estudio de la variabilidad genotípica con respecto a las características agrofisiológicas y bioquímicas puede proporcionar indicadores de estrés ambiental, como la temperatura, y también explicar el mecanismo de adaptación de la quinua.

Por otro lado, el uso de enmiendas orgánicas son una forma natural y sostenible de mejorar la calidad del suelo, aumentar la producción de los cultivos, mejorar su estructura y reducir su erosión, lo que resulta en una producción de cultivos más saludable y sostenible. En tal sentido, Yang *et al.* (2020) aplicaron biocarbón para aliviar el estrés por sequía y salinidad en plantas de quinua sin afectar su rendimiento y crecimiento. De esta forma, demostraron que el biocarbón tiene efectos positivos al aplicar riego intermitente en la zona de la raíz, lo que mejora la altura del cultivo en comparación con otros tratamientos de riego, como el completo o deficitario.

### Conclusiones y recomendaciones

Con base en la evidencia reportada, se recomienda realizar el análisis de idoneidad de hábitat con una mayor cantidad de variables bioclimáticas que derivan de valores mensuales de precipitación y temperatura, y el uso de *softwares* que resulten útiles para el procesamiento de datos. La tabla 1 presenta algunas experiencias sobre el uso de estos programas en otros países.

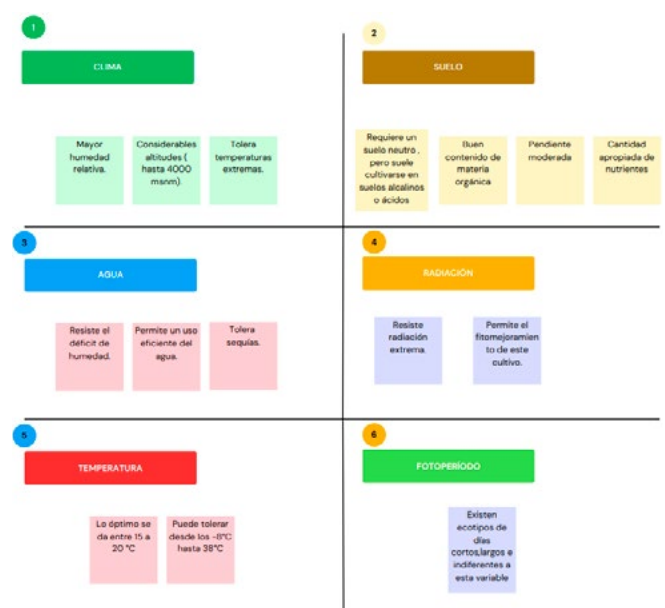
**Tabla 1.** Programas utilizados para modelamiento de cultivos

Referencia	País	Cultivo	Software
Voloudakis <i>et al.</i> (2015)	Grecia	Algodón	AquaCrop
Saadi <i>et al.</i> (2015)	Turquía	Trigo, tomate	ENSEMBLES
Cancino <i>et al.</i> (2018)	Perú	Quinua	SimaPro 8.3
Rolla <i>et al.</i> (2018)	Argentina	Trigo, Maíz	CCSM4
Raymundo <i>et al.</i> (2018)	Perú	Papa	SUBSTOR

La finalidad de estos programas es identificar las variables bioclimáticas que afectan de forma directa la distribución potencial de la quinua, y que esta información sea empleada como herramienta preventiva en la conservación de recursos naturales, a fin de permitir a las comunidades seleccionar las variedades de quinua con mejor adaptabilidad a determinadas condiciones climáticas, y así satisfacer sus necesidades nutricionales y económicas.

Se propone también el uso de enmiendas orgánicas para una mejor retención del agua. Por ejemplo, el biocarbón, que tiene la propiedad de mejorar el suelo ante las amenazas de sequía y salinidad.

Finalmente, para obtener una producción óptima y de alta calidad se requiere la búsqueda de variedades de quinua que sean más tolerantes a eventos de salinidad y sequías, considerando el estudio de las funciones, estructura, evolución, mapeo y edición del material genético, modelos integrados de cultivos, tipos de suelo y variables climáticas descritas en la figura 2. Al entender las necesidades específicas de la planta, los agricultores pueden implementar prácticas de cultivo adecuadas y ajustar las condiciones del suelo, agua y clima para maximizar el rendimiento.



**Figura 2.** Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de la quinua *Chenopodium quinoa* Willd.



## Contribución de autoría

ALP: investigación, metodología, supervisión, redacción del borrador original y de la edición final; BPC: validación y visualización; AZP: conceptualización, manejo de data y gráfico de distribución; KCQ: manejo de data y gráfico de distribución.

## Fuente de financiamiento

El desarrollo de esta investigación fue autofinanciado.

## Potenciales conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

## Referencias bibliográficas

- Ahmadi, S. H., Solgi, S. y Sepaskhah, A. R. (2019). «Quinoa: A super or pseudo-super crop? Evidences from evapotranspiration, root growth, crop coefficients, and water productivity in a hot and semi-arid area under three planting densities». *Agricultural Water Management*, 225, p. 105784. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105784>
- Anderson, R., Bayer, P. E. y Edwards, D. (2020). «Climate change and the need for agricultural adaptation». *Current Opinion in Plant Biology*, 56, pp. 197-202. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006>
- Bedoya, N., Pumi, G., Mujica, A., Talamini, E., and Padula, A. (2018). «Quinoa expansion in Peru and its implications for land use management». *Sustainability* 2018, 10(2), p. 532. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/SU10020532>
- Blackmore, I., Rivera, C., Waters, W. F., Iannotti, L. y Lesorogol, C. (2021). «The impact of seasonality and climate variability on livelihood security in the Ecuadorian Andes». *Climate Risk Management*, 32(December 2019), p. 100279. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100279>
- Cancino, E., Vázquez, I. y 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, pp. 221-232. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.029>
- Ccoyllar, K., Zaravia, A., Lozano, A. y Cornejo, J. (2021). «Vulnerability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) to environmental stress events in the high Andean regions of Peru». *Scientia Agropecuaria*, 12(4), pp. 589-597. Disponible en: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.063>
- Fedoroff, N., Battisti, D., Beachy, R., Cooper, P., Fischhoff, D., Hodges, C., Knauf, V., Lobell, D., Mazur, B., Molden, D., Reynolds, M., Ronald, P., Rosegrant, M., Sanchez, P., Vonshak, A. y Zhu, J. K. (2010). «Radically rethinking agriculture for the 21st century». *Science*, 327(5967), pp. 833-834. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.1186834>
- Filho, A., Pirozi, M., Borges, J., Pinheiro Sant'Ana, H., Chaves, J. y Coimbra, J. (2017). «Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), pp. 1618-1630. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811>
- International Labour Organization, ILO. (2017). How Peruvian quinoa farmers have boosted their income. Disponible en: [http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/mission-and-objectives/features/WCMS\\_579074/lang-en/index.htm](http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/mission-and-objectives/features/WCMS_579074/lang-en/index.htm)
- Jacobsen, S. (2006). «The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)». *Food Reviews International*, 19(1-2), pp. 167-177. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>
- Lennox, E. y Gowdy, J. (2014). «Ecosystem governance in a highland village in Peru: Facing the challenges of globalization and climate change». *Ecosystem Services*, 10, pp. 155-163. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.08.007>
- Maestro, I., Granado, S., Orús, M. I., Matías, J., Cruz, V., Bolaños, L. y Reguera, M. (2022). «Genotype-dependent responses to long-term water stress reveal different water-saving strategies in *Chenopodium quinoa* Willd.» *Environmental and Experimental Botany*, 201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104976>
- Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Essemine, J. y Barbato, R. (2021). «Photosynthetic performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) after exposure to a gradual drought stress followed by a recovery period». *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1862(5), p. 148383. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2021.148383>
- Morales, D., Miguel, M. y Garcés, M. (2020). «Pseudocereals: a novel source of biologically active peptides». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(9), pp. 1537-1544. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761774>
- Pereira, E., Encina, C., Barros, L., Gonzales, U., Cadavez, V. y Ferreira, I. (2019). «Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food». *Food Chemistry*, 280, pp. 110-114. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>

- Peter, B., Messina, J., Lin, Z. y Snapp, S. (2020). «Crop climate suitability mapping on the cloud: a geovisualization application for sustainable agriculture». *Scientific Reports*, 10, p. 17. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72384-x>
- Raymundo, R., Asseng, S., Robertson, R., Petsakos, A., Hoogenboom, G., Quiroz, R., Hareau, G. y Wolf, J. (2018). «Climate change impact on global potato production». *European Journal of Agronomy*, 100, pp. 87-98. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.008>
- Rolla, A., Nuñez, M., Guevara, E., Meira, S., Rodriguez, G. y Ortiz de Zárate, M. (2018). «Climate impacts on crop yields in Central Argentina. Adaptation strategies». *Agricultural Systems*, 160, pp. 44-59. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.08.007>
- Romano, A. y Ferranti, P. (2019). «Sustainable crops for food security: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)». *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 1, pp. 399-402. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22573-0>
- Romano, A. y Ferranti, P. (2023). «Pseudocereals: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)». *Reference Module in Food Science*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00004-4>
- Ruiz, K., Antognoni, F., Coulibaly, A., Lizardi, S., Covarrubias, A., Martínez, E., Molina, M., Biondi, S. y Zurita, A. (2011). «Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression». *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(11), pp. 1333-1341. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.PLAPHY.2011.08.005>
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L., Pizzigalli, C. y Lionello, P. (2015). «Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield». *Agricultural Water Management*, 147, pp. 103-115. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.008>
- Sanchez, H., Lemeur, R., Van Damme, P. y Jacobsen, S. (2006). «Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium Quinoa* willd.)». *Food Reviews International*, 19(1-2), pp. 111-119. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018874>
- Schmidt, D., Verruma, M., Forti, V. y Borges, M. (2021). «Quinoa and amaranth as functional foods: A review». *Foods Reviews International*, 39(4), pp. 2277-2296. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1950175>
- Vacher, J. (1998). «Responses of two main Andean crops, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and papa amarga (*Solanum juzepczukii* Buk.) to drought on the Bolivian Altiplano: Significance of local adaptation». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 68(1-2), pp. 99-108. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00140-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00140-0)
- Voloudakis, D., Karamanos, A., Economou, G., Kalivas, D., Vahamidis, P., Kotoulas, V., Kapsomenakis, J. y Zerefos, C. (2015). «Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis». *Agricultural Water Management*, 147, pp. 116-128. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.028>
- Yang, A., Saleem, S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M., He, X., Zhang, Z. y Jacobsen, S. (2020). «Biochar mitigates combined effects of drought and salinity stress in quinoa». *Agronomy*, 10(6), p. 912. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060912>

