

## RESISTENCIA DE TRES ECOTIPOS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) A DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN LA GERMINACIÓN

### Resistance of three quinoa ecotypes (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) to different levels of salinity at germination

Edwin Marcelo Gonzales Torrico<sup>1</sup>, Ermindo Barrientos Perez<sup>2</sup>

#### RESUMEN

En el altiplano de boliviano son escasos los estudios de niveles de salinidad y como afectan a la quinua, el mayor problema de la salinidad se manifiesta en el estado fenológico de la germinación, estudios realizados a nivel de laboratorio indica que al aplicar NaCl 400 mM la germinación se reduce en un 53 % influyendo directamente en el rendimiento de la quinua, el objetivo del presente estudio es determinar qué ecotipo de quinua es resistente a diferentes niveles de salinidad en la germinación, además de evaluar qué nivel de salinidad puede soportar la quinua en la germinación para mejorar los niveles de prendimiento a nivel de campo. Para conseguir los objetivos el trabajo fue realizado en el laboratorio de semillas de la Carrera de Agronomía de la FCAN, utilizando los ecotipos Kellu, Pinsankalla y Negra procedentes del germoplasma de origen de la zona del intersalar, el medio utilizado fue agar agua, en este estudio se hizo variar los niveles de NaCl 0, 300, 400 y 500 Mm, las variables consideradas para este estudio fueron porcentaje de germinación, longitud radícula y biomasa. El resultado de este estudio es que los porcentajes de germinación disminuyen cuando incrementan los niveles de sales, la quinua decrece un 25 % de su germinación a 300 mM, superior a este nivel los porcentajes de germinación disminuyen considerablemente, no existe diferencia significativa en ecotipos esto puede deberse que los tres ecotipos son de la línea reales y producidas a las orillas del salar de Uyuni. La prueba estadística permite concluir que la quinua resiste un nivel máximo de 300 mM de NaCl.

**Palabras clave:** salinidad, germinación, quinua, altiplano.

#### ABSTRACT

In the Bolivian altiplano there are few studies of salinity levels and how they affect quinoa, the greatest problem of salinity is manifested in the phenological stage of germination, studies carried out at the laboratory level indicate that when NaCl 400 mM is applied, germination is reduced by 53%, directly influencing the yield of quinoa, The objective of the present study is to determine which ecotype of quinoa is resistant to different levels of salinity in germination, in addition to evaluating what level of salinity quinoa can withstand in germination to improve the levels of yield at the field level. To achieve the objectives, the work was carried out in the seed laboratory of the Agronomy Department of the FCAN, using the ecotypes Kellu, Pinsankalla and Negra from the germplasm of origin of the intersalar zone, the medium used was water agar, in this study the levels of NaCl 0, 300, 400 and 500 Mm were varied, the variables considered for this study were germination percentage, radicle length and biomass. The result of this study is that the germination percentages decrease when the salt levels increase, quinoa decreases 25% of its germination at 300 mM, above this level the germination percentages decrease considerably, there is no significant difference in ecotypes this may be due to the fact that the three ecotypes are of the real line and produced on the shores of the Uyuni salt flat. The statistical test allows concluding that quinoa resists a maximum level of 300 mM NaCl.

**Keywords:** salinity, germination, quinoa, altiplano.

<sup>1</sup> ✉ Docente investigador, Facultad de Ciencias Agrarias y Naturales, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9406-1215>. [marcelogonzalestorrico@gmail.com](mailto:marcelogonzalestorrico@gmail.com)

<sup>2</sup> Docente, Facultad de Ciencias Agrarias y Naturales, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia.

## INTRODUCCIÓN

El altiplano se caracteriza por ser una zona extrema para la agricultura y una de las causas es la salinidad (Hervé et al. 2002), las sales se manifiestan a nivel de raíces, las sales alteran la absorción de agua afectando el crecimiento de estos órganos; también actúan produciendo efectos tóxicos. “La magnitud de las respuestas de las plantas se encuentra estrechamente relacionada a la concentración de las sales” (Goykovic y Saavedra, 2007), el efecto de la salinidad se observa en la germinación de la quinua, estudios realizados a nivel de laboratorio por Delatorre-Herrera y Pinto (2009) indican que “al aplicar NaCl 0.4 M, la germinación se reduce en un 53 % en la línea Amarilla y 89.9 % en Hueque. La velocidad de germinación fue menor en las semillas de quinua provenientes de selecciones de zonas no salinas, los suelos salinos son un determinante clave para la germinación de semillas en algunas circunstancias, el estrés por salinidad retrasa o previene la germinación a través de efectos osmóticos o toxicidad iónica (Huaran et al., 2018).

Los eco-tipos de quinua real producidos en el inter-salar del departamento de Oruro se caracterizan por su excelente adaptabilidad a las condiciones extremas para la agricultura, como es la salinidad. El registro de quinua real de Quispe et al. (2016), señala que estos eco-tipos han desarrollado una excepcional tolerancia a la salinidad que les permite cultivarse en tierras con alto contenido de sales. Rodríguez (2017) enfatizan la capacidad de estos eco-tipos para mantener altos rendimientos. Además, según un estudio de Pérez et al. (2018), estos eco-tipos contribuyen significativamente a la resiliencia de los sistemas agrícolas locales.

La zona de altiplano de boliviano, como menciona Choque (2019), son escasos los estudios de niveles de salinidad y como afectan a los cultivos en estas condiciones además se desconoce qué nivel de salinidad soporta la quinua en la germinación en ecotipos locales, Miranda et al. (2017) indican que el mayor problema de la salinidad es en su etapa fenológica de la germinación. Los bajos niveles de germinación de la quinua en suelos salinos reportan 56.7 y 10.8 % en los ecotipos Utusaya y G 205-95Dk, concentraciones bajas de NaCl estimularon la germinación, pero niveles superiores a 0.2 M resultaron en una marcada disminución, mencionando un límite de tolerancia en 0.3 M. mencionado por Valero (2006).

La viabilidad del grano de quinua es crucial para garantizar la productividad agrícola. La germinación bajo condiciones controladas, según Gómez y Fernández (2015) el número de semillas germinadas permite calcular el porcentaje de viabilidad. Pérez y Martínez (2016) sugieren la monitorización diaria de las semillas para mejorar la precisión del método, este procedimiento es fundamental para los programas de identificación de eco-tipos resistentes a diferentes factores abióticos que influyen su productividad.

Los rendimientos de los cultivos se ve influenciado directamente con los niveles altos de sales (Agrosal, 2020), se estima que las pérdidas por la salinidad en la quinua son mayores del 50 % (Ayala et al., 2009) contar con ecotipos de quinua resistente a la salinidad y conocer el nivel de resistencia es importante para afrontar los niveles de sales del altiplano (Orsag, 2010). El objetivo de la investigación es determinar que eco-tipo de quinua es resistente a diferentes niveles de salinidad en la germinación y qué nivel de salinidad puede soportar la quinua en la germinación para mejorar los niveles de germinación de la quinua a nivel de campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Fisiología Vegetal, del Departamento de Agronomía de la Ciencias Agrarias y Naturales, Universidad Técnica de Oruro (Bolivia), se encuentra en las coordenadas geográficas 17°58' S de latitud y 67°08' O de longitud. Presenta una temperatura media anual de aproximadamente 12 °C, con temperaturas máximas que pueden alcanzar hasta 23 °C y mínimas que descienden hasta -12 °C. La precipitación promedio anual es de alrededor de 400 mm, concentrándose principalmente en la temporada de verano, de diciembre a marzo, lo que caracteriza a la región por su clima seco y frío típico del altiplano boliviano.

### Metodología

#### *Ecotipos de quinua*

Se evaluaron tres ecotipos del altiplano sur de Bolivia: Kellu, Negra y Pisankalla, obtenidas del germoplasma de la Facultad de Ciencias Agrarias y Naturales (FCAN) (UTO, 2012). Las semillas fueron almacenadas a temperatura ambiente hasta su evaluación.

## Desinfección y germinación

La superficie de las semillas fue desinfectada por 20 min en 20 % de hipoclorito de sodio y enjuagadas por 1 hora en agua destilada para eliminar contaminación de microorganismos durante la germinación. La germinación de las semillas de quinua fue evaluada en cajas Petri de 90 mm de diámetro (Stoleru et al. 2019), sobre agar agua y diferentes concentraciones de NaCl. Las cajas Petri fueron selladas con parafilm e incubadas en oscuridad, a 25 °C y 70 % de humedad. La evaluación de germinación fue diaria y se consideró germinado cuando la radícula se extendió hasta los 2 mm. (Delatorre-Herrera y Pinto 2009).

### Porcentaje de germinación y crecimiento de radícula

Se calcularon el porcentaje de germinación (PG), longitud radícula (LR) fue medido con una regla cada 24 h, hasta alcanzar los 2 mm. El peso germinado (EPG) fue medido al final del experimento. Para la evaluación de las variables mencionadas se utilizó el programa libre ImageJ.

### Nivel de Sal

Las concentraciones de sal fueron 0 mM a 400 mM NaCl. Cueva (2021) reporta que no existe mucha diferencia de inhibición de germinación y crecimiento de quinua a niveles inferiores de 100 mM NaCl, los tratamientos aplicar son de: 0 (el control), 300, 400 y 500 mM, la molaridad se utilizó calculadora virtual (GraphPad, 2022).

### Análisis estadístico

El diseño estadístico utilizado es un arreglo factorial propuesto por Siles (2006), con tres ecotipos de quinua y cuatro niveles de sal NaCl se utilizó, los tratamientos contaban con tres repeticiones, previamente antes del procesado de los datos se realizó un análisis de normalidad, para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico R en su versión 64.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Niveles de germinación

En el análisis de varianza, no se obtuvieron diferencias significativas entre ecotipos; sin embargo, existe alta significancia entre niveles de salinidad. Según el análisis de contrastes lineales y cuadráticos se aprecia

que existe alta significancia para ambos parámetros (lineal  $Pr > F < .0001$ , cuadrático  $Pr > F = 0.0051$ ) esto indica que el porcentaje de germinación decrece significativamente al incremento de los niveles de sal, en la Figura 1 se aprecia que a un nivel de 300 mM la quinua disminuye su germinación en un 30 %, a nivel de 400 mM decrece un 80 % y 500 mM disminuye casi un 95 % su porcentaje de germinación, este patrón sugiere una sensibilidad de la quinua a niveles más altos de salinidad, lo que se traduce en una reducción progresiva de su capacidad de germinación, en la Figura 2 se aprecia que a niveles de 300 mM el ecotipo Pisankalla tiene el mejor porcentaje de germinación con 83,3 % a 400 y 500 mM el ecotipo Kellu reporta mayores porcentajes en comparación con los dos ecotipos, esto sugiere una posible adaptación diferencial de los ecotipos de quinua a condiciones de estrés salino.

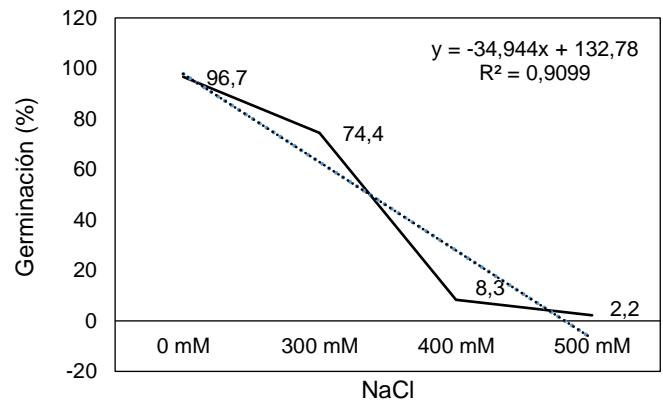


Figura 1. Germinación en diferentes niveles de NaCl.

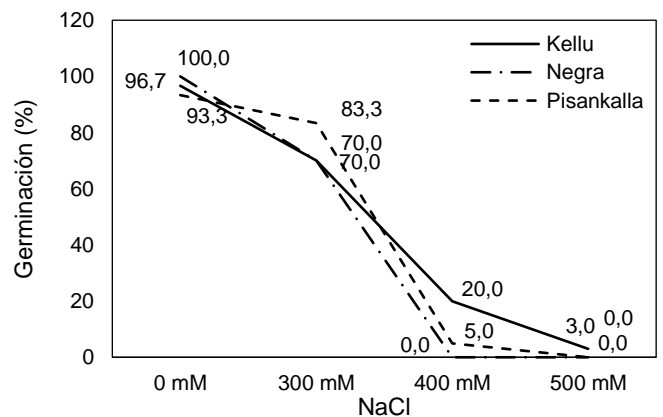


Figura 2. Germinación en tres ecotipos de quinua bajo cuatro niveles de NaCl.

La prueba de análisis de varianza (ANVA) indica que no existe diferencias significativas entre ecotipos, con alta significancia entre niveles NaCl. En el análisis de contrastes lineales y cuadráticos se aprecia que existe alta significancia para ambos parámetros (lineal

$Pr > F < .0001$ , cuadrático  $Pr > F = < .0001$ ), esto indica que la longitud radícula decrece significativamente al incremento de los niveles de sal. La radícula desarrolla normalmente cuando no tiene presencia de sales, esta longitud disminuye considerablemente a 300 mM con 0.8 cm, además se observa que el ecotipo Kellu reporta las mayores longitudes con 1.4 cm, en los demás niveles no existe diferencia en la longitud radícula entre los tres ecotipos (Figura 3 y 4).

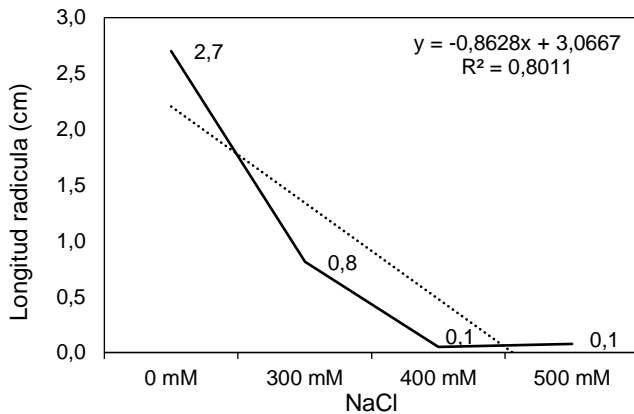


Figura 3. Longitud radícula en cuatro niveles de NaCl.

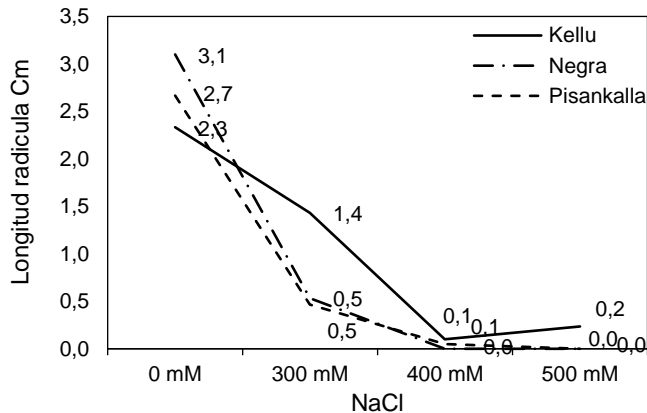


Figura 4. Germinación en tres ecotipos de quinua bajo cuatro niveles de NaCl.

### Biomasa de germinación

Según el ANVA no existe diferencias significativas entre ecotipos, a la vez, existe alta significancia entre niveles NaCl. La mayor biomasa se reporta a niveles cero de sales, este peso decrece significativamente a un nivel de 300 mM tendencia que se fija con el incremento de sales (Figura 5). En el análisis de contrastes lineales y cuadráticos se aprecia que existe alta significancia para ambos parámetros (lineal  $Pr > F < .0001$ , cuadrático  $Pr > F = < .0001$ ) esto indica que la biomasa de germinación decrece significativamente al incremento de los niveles de sal.

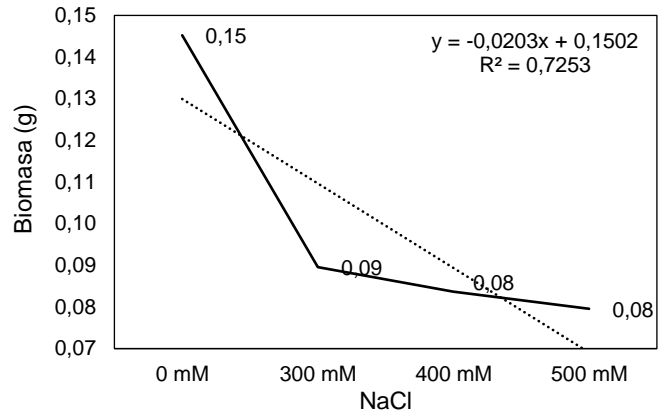


Figura 5. Peso de germinado en 4 diferentes niveles de NaCl.

*Salinidad del suelo*, los suelos del altiplano se caracterizan por presentar una textura superficial entre franco arenoso y franco arcillosos, la CE se encuentra entre 0 y 4 mS cm<sup>-1</sup> en suelos normales, en suelos salinos tiene una textura superficial de franco arcilloso limoso a franco arcilloso, la CE se encuentra de 4 a 15 mS cm<sup>-1</sup> y el PSI inferior a 15 % (Hervé et al. 2002), según la clasificación del suelo y su intensidad de salinidad, son suelos fuertemente salinos con valores superiores a 15 mS cm<sup>-1</sup> (Valero 2006). Los suelos salinos tienen conductividad eléctrica mayor a 4 dS m<sup>-1</sup>, el pH generalmente es menor a 8.5. (Orsag 2010).

*La quinua y la tolerancia a la salinidad*, la germinación de la quinua se comporta de diferente manera en estudio realizado por entre 0.0, 0.1 y 0.2 M, la germinación se retrasa, pero alcanza casi el mismo porcentaje final, desde 0.3 hasta 0.4 M la germinación se retrasa y se reduce, en 0.4 M se reduce casi en un 50 % y a 0.5 M se retrasa aún más pero la reducción es más significativa alcanzando menos del 15 % de germinación. Gonzales (2019), menciona que el porcentaje de semillas no germinadas depende de la temperatura, un mayor número de semillas no germinadas a bajas temperaturas. Estudios realizados en variedades de quinua del altiplano argentino mencionado por Chilo et al. (2009) cita que el efecto salino influyó sobre la velocidad de germinación, baja salinidad de 0.1M disminuyó marcadamente, con un nivel salino de 0.4 M.

El estudio del efecto de estrés salino en cuatro genotipos de quinua en ambiente protegido reporta que la concentración 0.0 M de NaCl es estadísticamente diferente y superior con 4.94 g en rendimiento grano, el nivel de 0.1 M indica un rendimiento de 3.65 g, este autor también reporta que los menores rendimientos lo reportan a 0.2 y 0.3 M con 1.67 y 0.89 g respectivamente, y la variedad de mayor rendimiento

con estos niveles de salinidad la variedad Utusaya con 3.36 g (Valero, 2006).

Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que han demostrado que la quinua es sensible al estrés salino, lo que afecta negativamente su germinación y crecimiento (Ruiz-Carrasco et al., 2011; Jacobsen et al., 2003). Además, investigaciones han demostrado la existencia de variabilidad genética entre diferentes eco-tipos de quinua en su capacidad para tolerar la salinidad (Manaa et al., 2016).

## CONCLUSIONES

Los niveles de salinidad de la quinua tienen influencia en el porcentaje de germinación, longitud de la radícula y biomasa del germinado, cuando mayores son los niveles de salinidad NaCl decrece el porcentaje de germinación. Los ecotipos de quinua tienen un nivel de soportabilidad de 300 mM, disminuyendo su germinación en 30 %, mayores a estos niveles el porcentaje de germinación disminuye considerablemente. La longitud radícula decrece con niveles mayores de salinidad, a 300 mM la longitud solo alcanza a 0.8 cm. El ecotipo de mayor soportabilidad al NaCl es Pisankalla con 83.3 % a un nivel de 300 Mm. Las mayores longitudes de radícula lo reportan el ecotipo Kellu en los niveles de salinidad de 300, 400 y 500 mM.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agrosal. 2020. Tolerancia de los cultivos a la salinidad (en línea). Consultado 02 feb. 2024. Disponible en <http://agrosal.ivia.es/tolerancia.html>
- Ayala, G; Taquirichi, L; Nuñez, D. 2009. Recuperación de suelos salinos mediante cultivo Qawchi (en línea). Secretaría departamental de recursos naturales y medio ambiente, 1–36. Consultado 11 oct. 2023. Disponible en <https://www.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-09/CARTILLAQAUCHI%20%20%20PDF.pdf>
- Chilo, G; Vacca Molina, M; Carabajal, R; Ochoa, M. 2009. Efecto de la temperatura y salinidad sobre la germinación y crecimiento de plántulas de dos variedades de *Chenopodium quinoa* (en línea). *AgriScientia* 26(1). Consultado 14 sept. 2023. Disponible en [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1668-298X2009000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2009000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Choque, W. 2019. Problemas de la agricultura en el municipio del Choro. Oruro, s.e.
- Cueva, L. 2021. Identificación de genotipos de *Chenopodium quinoa* Willd tolerantes a salinidad, en condiciones controladas (en línea). s.l., Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 163 p. Consultado 09 oct. 2023. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12774>
- Delatorre-Herrera, J; Pinto, M. 2009. Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections (en línea). *Chilean journal of agricultural research* 69(4):477–485. Consultado 05 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.4067/s0718-58392009000400001>
- Gómez, P; Fernández, J. 2015. Método estándar de viabilidad de semilla de quinua. Lima: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Gonzales, J. 2019. Ecofisiología y morfología del estrés debido a factores adversos (en línea). Consultado 23 nov. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/3/x8234s/x8234s08.htm>
- Goykovic, V; Saavedra, G. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo (en línea). 25:47-58. Consultado 22 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.4067/s0718-34292007000300006>
- GraphPad. 2022. Molarity Calculator (en línea). Consultado 02 feb. 2023. Disponible en <https://www.graphpad.com/quickcalcs/molarityform/>
- Hervé, D; Ledezma, R; Orsag, V; Flores, M. 2002. Limitantes y manejo de los suelos salinos y/o sódicos en el altiplano boliviano (en línea). p. 59. Consultado 09 oct. 2023. Disponible en [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers09-08/010029752.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-08/010029752.pdf)
- Huaran, H; Hao, L; Feihu, L. 2018. Seed germination of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars responds differently to the stress of salt type and concentration (en línea). *Industrial Crop and Products* 123: 254-261. Consultado 18 jun. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.089>
- Jacobsen, SE; Monteros, C; Christiansen, JL. 2003. Correlations between sodium and potassium concentrations and tolerance to sodium chloride in cultivated and wild species of *Chenopodium*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(4):617-621.
- Manaa, A; Goussi, R; Derbali, W; Cantamessa, S; Abdelly, C; Barbato, R. 2019. Salinity tolerance of quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) as assessed by chloroplast ultrastructure and photosynthetic performance. *Environmental and Experimental Botany*, 162:103-114, ISSN 0098-8472,
- Miranda, R; Caballero, A; Cadena, F; Bosque, H. 2017. Salinidad y el cultivo de la quinua – una breve revisión bibliográfica (en línea). *Apthapi* 3(1):87–92. Consultado 11 nov. 2023. Disponible en <http://www.ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/108/110>
- Orsag, V. 2010. El recurso suelo principios para su manejo y conservación (en línea). Guerra, A (ed.). La Paz, 3:54-67.
- Pérez, A; Martínez, L. 2016. Evaluación de viabilidad de semillas de quinua bajo condiciones controladas. Quito:

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Pérez, A; Sánchez, L; Vargas, R. 2018. Sostenibilidad de los sistemas agrícolas con quinua real en el intersalar. Quito: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Quispe, L; Mamani, R; Choque, E. 2016. Catálogo de ecotipos de quinua real en el intersalar. La Paz: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Ruiz-Carrasco, K; Antognoni, F; Coulibaly, AK; Lizardi, S; Covarrubias, A; Martínez, EA; Molina-Montenegro, MA. 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):1333-1341.
- Rodríguez, M; Flores, C; Gutiérrez, P. 2017. Rendimiento y calidad nutricional de ecotipos de quinua real en suelos salinos. Buenos Aires: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Siles, M. 2006. Apuntes sistemas de análisis estadístico (diseños estadísticos). 1er edición. Cochabamba, s.e. 32 p.
- Stoleru, V; Slabu, C; Vitanescu, M; Peres, C; Cojocar, A; Covasa, M; Mihalache, G. 2019. Tolerance of three quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to salinity and alkalinity stress during germination stage (en línea). *Agronomy*, 9(6):1-14. Consultado 18 mar. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy9060287>
- UTO. 2012. Centro Experimental Agropecuario Condoriri (en línea). Consultado 02 feb. 2024. Disponible en <http://www.condoriri-uto.edu.bo/>
- Valero, R. 2006. Efecto de estrés salino en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en ambiente protegido (en línea). Tesis Lic, Universidad Mayor de San Andrés. Consultado 12 nov. 2023. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/11087>

Artículo recibido en: 13 de diciembre del 2023

Aceptado en: 24 de agosto del 2024