



Análisis de la vulnerabilidad en el rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo el contexto del cambio climático

Yield vulnerability analysis of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under the context of climate change

Conde Viscarra Eva^{1*} , García-Apaza Emilio²

Datos del Artículo

¹ Universidad Mayor de San Andrés.
Departamento de Investigación, Postgrado e Interacción Social (DIPGIS).
Av. 6 de agosto N° 2170.
Edificio Hoy, piso 14.
La Paz Estado Plurinacional de Bolivia.

² Universidad Mayor de San Andrés.
Facultad de Agronomía.
Héroes del Acre N° 1850.
La Paz Estado Plurinacional de Bolivia.

***Dirección de contacto:**

Eva Conde Viscarra
Universidad Mayor de San Andrés.
Departamento de Investigación, Postgrado e Interacción Social (DIPGIS).
Av. 6 de agosto N° 2170.
Edificio Hoy, piso 14.
Tel: +591-2442464 - 244362
La Paz Estado Plurinacional de Bolivia.

E. mail: evacondeviscarra@gmail.com

Palabras clave:

Variabilidad climática,
exposición,
sensibilidad,
capacidad de adaptación,
Patacamaya.

J. Selva Andina Biosph.
2024; 12(2):54-67.

ID del artículo: [145/JSAB/2024](https://doi.org/10.145/JSAB/2024)

Historial del artículo

Recibido abril, 2024.
Devuelto julio, 2024.
Aceptado septiembre, 2024.
Disponible en línea, noviembre 2024.

*Editado por:
Selva Andina
Research Society*

Keywords:

Climate variability,
exposure,
sensitivity,
adaptive capacity,
Patacamaya.

Resumen

La investigación se ha llevado a cabo en las comunidades de Chiaraque, Patarani y Alto Patacamaya del municipio de Patacamaya (La Paz, Bolivia). Se estudio 3 variedades de quinua: Criolla, Negra y Real, durante los años 2013 y 2014. Se evaluó los componentes de la vulnerabilidad del rendimiento utilizando una metodología cualitativa, que utilizó rangos de variación: Alto (3), Medio (2) y Bajo (1) que relaciona variables climáticas, así mismo, incluye un análisis del grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de las 3 variedades de quinua frente a la falta de humedad y/o precipitación en un rango de alto a medio. Los resultados señalan que existe un bajo rendimiento de las 3 variedades por un bajo almacenamiento de agua en el perfil del suelo.

2024. *Journal of the Selva Andina Biosphere*®. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

The research was carried out in the communities of Chiaraque, Patarani and Alto Patacamaya in the municipality of Patacamaya (La Paz, Bolivia). Three quinoa varieties were studied: Criolla, Negra and Real, during 2013 and 2014. The components of yield vulnerability were evaluated using a qualitative methodology, which used ranges of variation: High (3), Medium (2) and Low (1) that relate climatic variables, as well as an analysis of the degree of exposure, sensitivity and adaptability of the 3 quinoa varieties to lack of moisture and/or precipitation in a range from high to medium. The results indicate that there is a low yield of the 3 varieties due to low water storage in the soil profile.

2024. *Journal of the Selva Andina Biosphere*®. Bolivia. All rights reserved.



Introducción

La agricultura, de muchos países en vías de desarrollo, en regiones áridas y semiáridas resultará afectada por el cambio climático (CC). Los incrementos de temperatura, sequías, inundaciones, desertificación y climas extremos, afectarán severamente la agricultura¹. En algunos países, ya se ha notado los efectos desencadenantes de la elevación de temperatura, como la variación de patrones de precipitación, la expresión de plagas y enfermedades en sitios cada vez más altos, la frecuencia e intensidad de eventos extremos, está afectando cada vez, con mayor intensidad a distintas regiones del país², al igual que a todo el planeta.

Estudios realizados en producción primaria, señalaron que las plantas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) podrían presentar variaciones en su producción, por efecto del cambio en los patrones de precipitación³. Por lo tanto, la vulnerabilidad de su rendimiento (VR), se explica también por el grado de presencia de humedad en el suelo⁴.

Los mayores efectos de variación del rendimiento de la quinua, están relacionados con la variación de los patrones de precipitación⁵. Por otro lado, se menciona que la quinua posee una capacidad excepcional para hacer frente a la escasez de agua, basada en su bajo requerimiento hídrico intrínseco, capacidad de reanudar rápidamente su nivel fotosintético anterior y su área foliar específica, después de un período de sequía⁶⁻⁸. Por lo que, el objetivo de la presente investigación fue analizar el efecto del CC en términos de vulnerabilidad sobre el rendimiento de la quinua (*C. quinoa* Willd.) en el municipio de Patacamaya en La Paz.

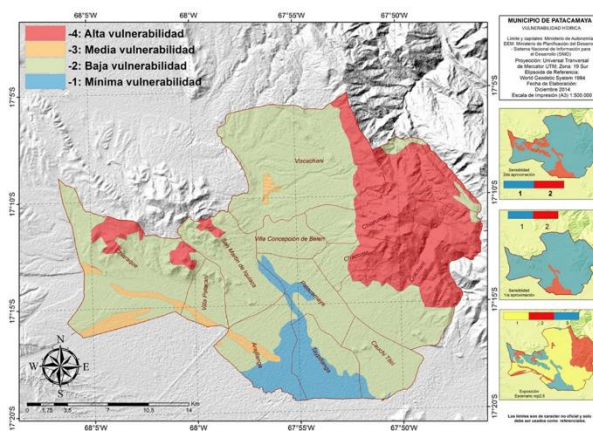
Materiales y métodos

Localización. La investigación se realizó en las comunidades de Chiaraque, Alto Patacamaya y

Patarani, del Altiplano Central del Departamento de La Paz, Provincia Aroma, Bolivia (17°05'00" S y 67°45'00" O).

El clima es mesotermico con invierno seco frio, los suelos varían de arcillo-arenosos a franco arcillo-arenosos, con contenidos bajos a moderados de materia orgánica, de acuerdo a las características de textura, topografía, color de suelo y vegetación predominante⁹, por otro lado, la mayor parte de superficie cultivable se encuentra entre 3800 y 3950 m.s.n.m. (Figura 1)¹⁰. Esta investigación se plasmó en el análisis, identificación, de los principales componentes del CC que afectan la producción de la quinua, utilizando una combinación de información primaria y secundaria¹¹.

Figura 1 Localización de las zonas de investigación: Chiaraque, Patarani, y Alto Patacamaya



Varietades de quinua. La investigación estudio 3 variedades de quinua, i) Real: es un grano grande, ii) Negra: es el grano de color oscuro de tamaño mediano, iii) Criollo: es te grano es de tamaño mediano se siembra con frecuencia y se consume¹². Sembradas entre el 2013-2014 en las parcelas de las 3 comunidades del Municipio de Patacamaya.

Información primaria. Se levantó información sobre la variabilidad climática y el uso de variedades de quinua en la zona de estudio aplicando un método de encuesta semicerrada combinada con entrevistas informales¹¹.

Información secundaria para el Análisis. La información relacionada con la superficie, rendimiento y producción de quinua, se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística¹³. Los datos de humedad de suelo han sido obtenidos *in situ* e interpolados con datos del UCAR/CU¹⁴.

Vulnerabilidad del rendimiento. La estimación de VR de la quinua se realizó a través de una evaluación cuali-cuantitativa en base al grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (CA) de la quinua adaptada parcialmente a la metodología de Rivas Acosta et al.¹⁵.

Exposición. Se refiere al grado de estrés climático sobre una unidad particular de análisis y que puede estar representada por cambios en las condiciones climáticas¹⁶. Se analiza, la variación de contenido de humedad en el suelo, como una variable de efecto sobre el rendimiento de grano, esta aproximación se estimó en base a la relación de la diferencia de humedad de suelo de un periodo inicial contra uno final.

$$Exp\ Hum\ S^{\circ} = \frac{H_{final} - H_{inicial}}{H_{inicial}}$$

Exp Hum S° (E)= Exposición a la humedad del suelo en el periodo de crecimiento de la planta, H_{final} = Contenido de humedad de suelo final (mm), H_{inicial} = Contenido de humedad de suelo inicial (mm), si: i) Exp Hum S° = 3, alta exposición. ii) Exp Hum S° = 2, media exposición. iii) Exp Hum S°= 1, baja exposición.

El contenido de agua en el suelo rizosférico se ha obtenido mediante 15 muestras de suelo y aplicado el método gravimétrico¹⁷, se han interpolado con datos bajados y calibrados a través de una simple correlación de proporcionalidad¹⁴.

Sensibilidad. Grado en el que un sistema es potencialmente modificado o afectado por un estrés¹⁶, la sensibilidad de una planta a la falta de humedad

puede traducirse en su rendimiento y la superficie por lo que esta variable se ha adaptado con la relación de Santibañez¹⁸:

Sensibilidad (S) = Cambio porcentual en rendimiento × superficie de producción de quinua.

Capacidad de adaptación (CA). Esta variable se ajustó a la relación que existe entre el cambio de temperatura y el de la precipitación, asumiendo que existe una relación entre el déficit o el excedente teórico del agua del suelo y las variaciones de la temperatura durante el periodo activo de vegetación¹⁹:

$$CA = VAR_c + \frac{\Delta T}{\Delta p}$$

CA = Capacidad de adaptación, VAR_c = Variación interanual del rendimiento del cultivo, ΔT = Índice de variación de la temperatura, Δp = Índice de variación de la precipitación.

Vulnerabilidad del rendimiento (VR): Se estimó siguiendo la relación¹⁸:

$$VR = Exposición + Sensibilidad - Capacidad\ de\ adaptación$$

VR= Vulnerabilidad del rendimiento.

Análisis de la información. Para comparar los datos se obtuvieron índices y se agruparon en frecuencias, ordenando los valores dispersos desde el límite superior al límite inferior de clase en 3 amplitudes del (1 al 3)²⁰, Bajo este método se identificaron 3 niveles de vulnerabilidad (alto, medio, bajo) (Tabla 1).

Tabla 1 Valores asignados a los factores en la aproximación de la vulnerabilidad del rendimiento

Factor	Rango (A, M, B) / Valor (3,2,1)
Exposición (E)	Alto (3), Medio (2), Bajo (1)
Sensibilidad (S)	Alto (3), Medio (2), Bajo (1)
Capacidad de adaptación (CA)	Alto (3), Medio (2), Bajo (1)

Luego con las valoraciones asignadas a cada factor según el rango, se aplicó la fórmula de vulnera-

bilidad y se obtuvo un valor cuantitativo para cada año de rendimiento, definidos como índice de VR:

Si la VR = Exposición + Sensibilidad – Capacidad

$$V = E (3, 2, 1) + S (3, 2, 1) - CA (3, 2, 1)$$

- a) V1= (1) + (1) - (3) = -1
- b) V2= (1) + (1) - (2) = 0
- c) V3= (1) + (3) - (3) = 1
- d) V4= (2) + (3) - (3) = 2
- e) V5= (3) + (3) - (3) = 3
- f) V6= (3) + (3) - (2) = 4
- g) V7= (3) + (3) - (1) = 5

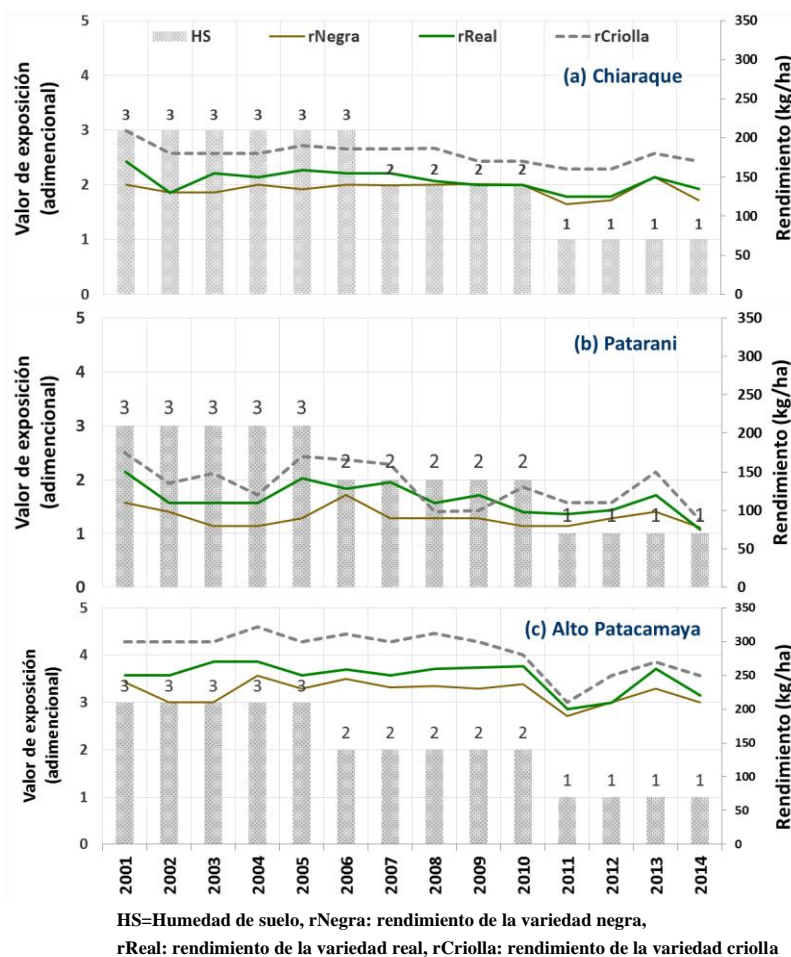
Con 27 posibles combinaciones, Tabla 2.

Tabla 2 Niveles de vulnerabilidad del rendimiento bajo el criterio de variaciones de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación

Rangos	Vulnerabilidad del rendimiento
-1	Muy Baja
0	Baja
1	Moderada
2	Media
3	Media alta
4	Alta
5	Muy Alta

Resultados

Figura 2 Grado de exposición a la humedad de suelo debido a la precipitación en el municipio de Patacamaya



Exposición a la humedad del suelo. En el año 2001 en las comunidades de Alto Patacamaya, Chiaraque, Patarani, se obtuvo una calificación de 3, es decir, fue alta (Tabla 1). Lo que significa, 560 mm de precipitación permitieron un almacenamiento de agua alto,

en el perfil del suelo. Por otro lado, del 2011 al 2014 se observó que fue baja (234 mm). Así, los resultados expresaron que la variedad Criolla tiene mejor adaptación a las condiciones en las 3 comunidades, seguida de la quinua Real y finalmente la Negra.

Figura 3 Relación del rendimiento anual de las variedades de quinua (kg ha^{-1}) con la humedad en el suelo (mm) en las comunidades de (a) Chiaraque, (b) Patarani y (c) Alto Patacamaya. La humedad fue estimada hasta los 80 cm de profundidad de suelo

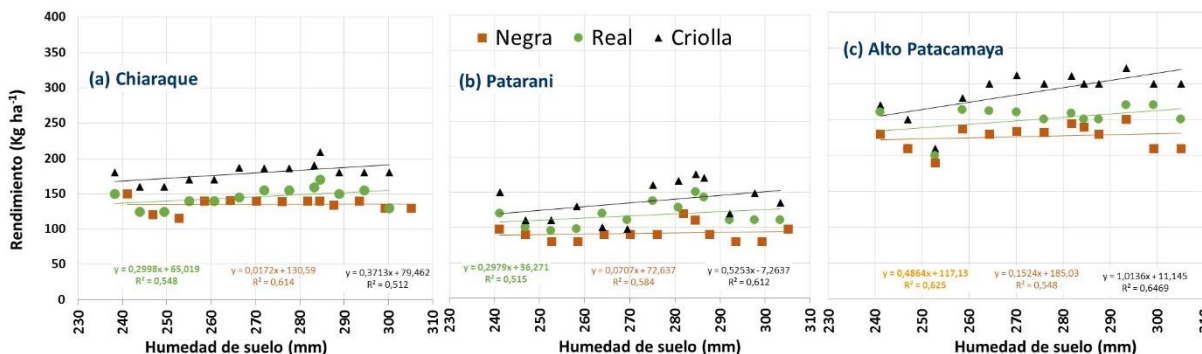
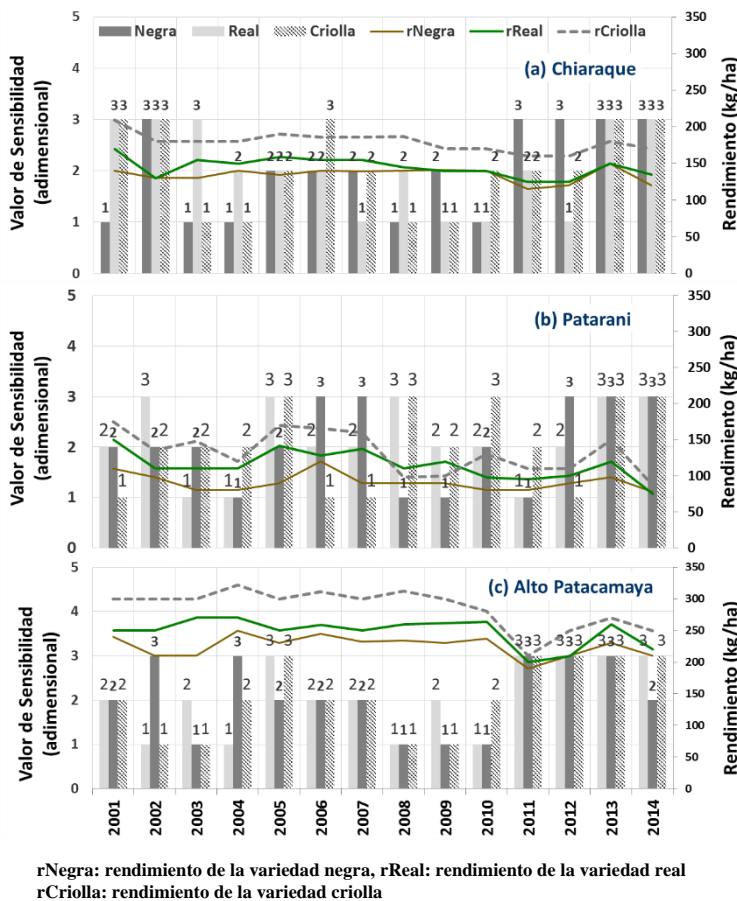


Figura 4 Valor de Sensibilidad del rendimiento de la quinua (kg ha^{-1}) del año 2001 al 2014 para las variedades de quinua Real, Negra y Criolla en las comunidades de (a) Chiaraque, (b) Patarani, y (c) Alto Patacamaya



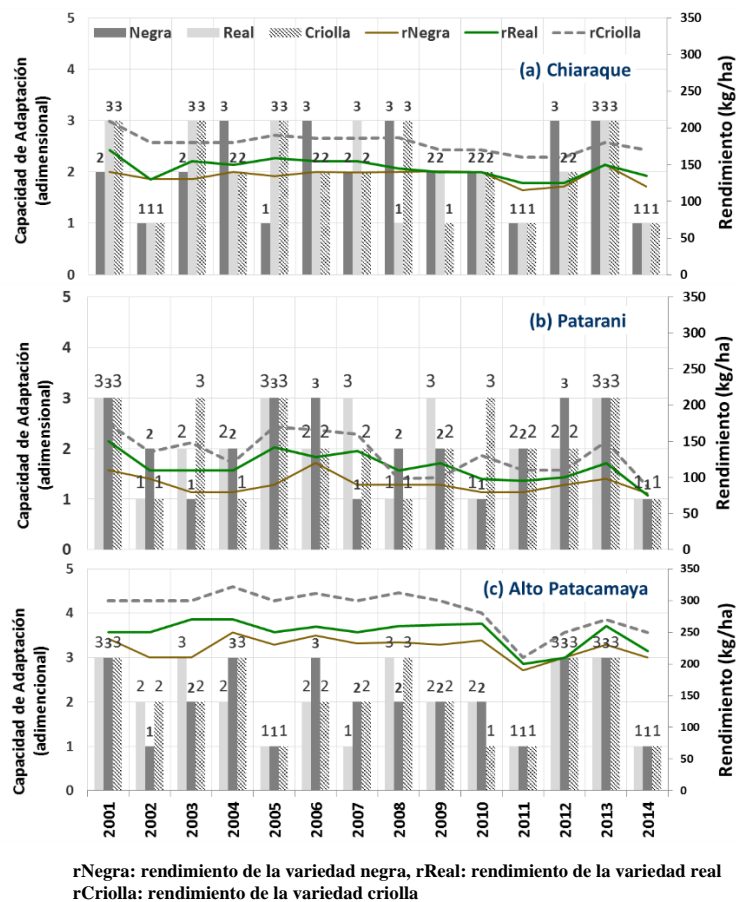
Sin embargo, esta relación puede variar según sea la retención de agua en el perfil del suelo. La relación del rendimiento anual de la quinua y la humedad en el suelo para las 3 variedades de quinua en 3 comunidades varío (Figura 3). En Chiaraque, la variedad

Criolla es la que mejor rendimiento tuvo frente a diferentes cantidades de humedad de suelo entre 227 y 300 mm de agua, con un rendimiento entre 150 a 209 kg ha^{-1} . En Patarani la variedad Criolla es la que tuvo mejor rendimiento frente a diferentes cantidades

de humedad de suelo entre 230 y 303 mm de agua, con un rendimiento entre 80 a 175 kg ha⁻¹. En Alto Patacamaya, la variedad Criolla es la que tuvo mejor

rendimiento frente a diferentes cantidades de humedad de suelo entre 229 y 305 mm de agua, con un rendimiento entre 150 a 322 kg ha⁻¹.

Figura 5 Capacidad de adaptación (adimensional) de tres variedades de quinua (Real, Negra y Criolla) entre el 2001 y 2014 en las comunidades de Chiaraque, Patarani y Alto Patacamaya



Sensibilidad del rendimiento de la quinua. Los valores de sensibilidad anual en la comunidad de Chiaraque variaron por variedad, en los años de mayor precipitación, los más sensibles fueron la Real y la Criolla (3), y la variedad Negra expuso una menor sensibilidad (1), en los años con menos precipitación, las 3 variedades presentaron alta sensibilidad (3). Por otro lado, en la comunidad de Patarani en los años de mayor precipitación, la más sensible fue la Real (3), y la variedad Negra con una menor sensibilidad (1), en los años con menos precipitación, las 3 variedades fueron alta sensibilidad (3). En la comunidad de Alto Patacamaya en los años de mayor precipitación, la

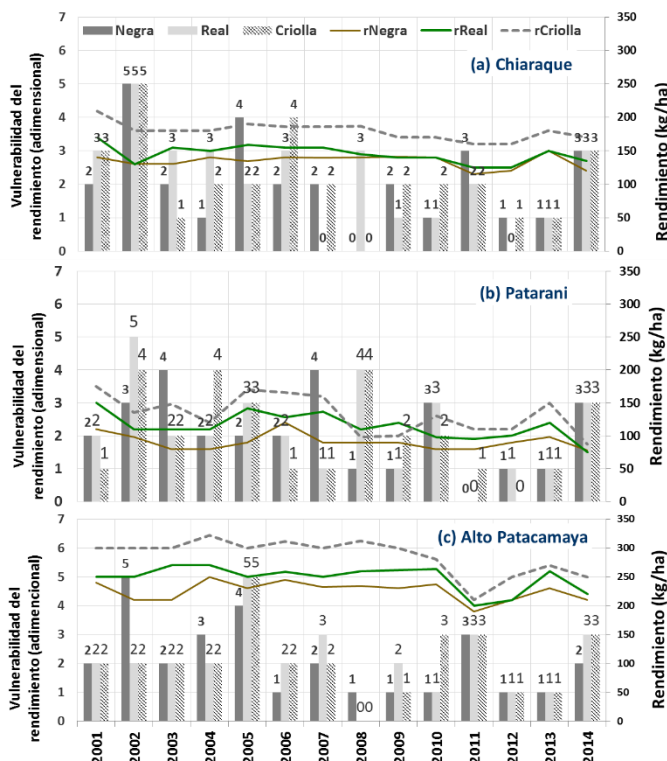
más sensible fue la Negra (3), y las variedades Real y Criolla fueron menor de media (2), en los años con menos precipitación, las variedades Real y Criolla fueron alta sensibilidad (3), y la Negra una media sensibilidad (2) (Figura 4).

Capacidad de adaptación del rendimiento de la quinua. Se identificó, que la CA de 3 variedades de quinua (Real, Negra y Criolla) en 3 comunidades del municipio de Patacamaya, fue alta. La Figura 5 muestra que en Chiaraque con altas precipitaciones en el 2001 (560 mm), las variedades Real y Criolla presentaron una alta CA (3), en precipitaciones bajas (234 mm), caso del 2012, sólo la variedad Negra tuvo

alta CA (3). En la comunidad de Patarani con altas precipitaciones en el 2001, las 3 variedades presentaron alta CA (Tabla 1, una valoración de 3), en precipitaciones bajas, caso del 2012, solo la variedad Negra tuvo alta CA (3). En Alto Patacamaya con altas

precipitaciones en el 2001, las 3 variedades manifestaron una alta CA (3), en precipitaciones bajas, el 2012, las 3 variedades expusieron una alta CA (3).

Figura 6 Valor de la vulnerabilidad del rendimiento de tres variedades de quinua (Real, Negra y Criolla) en tres comunidades (Chiaraque, Patarani y Alto Patacamaya) del municipio de Patacamaya entre los años 2001 al 2014



Vulnerabilidad del rendimiento de la quinua. Aplicando la relación del valor de la VR se ha obtenido dicho valor para 3 variedades de quinua (Real, Negra y Criolla) en 3 comunidades (Chia-raque, Patarani, y Alto Patacamaya) en el municipio de Patacamaya, como producto de la interacción del grado de exposición, grado de sensibilidad y CA de dicho cultivo (Figura 6).

Discusión

Exposición a la humedad del suelo. Algunos autores indican que, si la quinua está expuesta a un déficit hídrico después de la floración, esta disminuye en su

rendimiento^{21,22}, pero esto no se vio particularmente entre 2011 y 2014, cuando se hubo baja precipitación en la zona de estudio²³. Los niveles de agua que afectan el rendimiento van desde 100 a 200 mm de exceso de agua, con pérdidas que van desde un 30 hasta un 90 % de la cosecha, por otro lado, el rendimiento de quinua, es fuertemente afectada por una sequía prolongada, su efecto cambia con el genotipo y el ambiente, destacándose la importancia de seleccionar genotipos de mayor rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico considerando la interacción genotipo × ambiente²⁴. Sin embargo, a diferencia de otros cultivos, la quinua no necesita grandes volúme-

nes de agua, su requerimiento esta entre 96 a 262 mm de agua durante su periodo vegetativo²⁵.

Con la precipitación, el agua se almacena en el perfil del suelo, que está disponible para la planta²⁶, al mismo tiempo, algunos estudios revelan que la evaporación del suelo se incremento por aumento de la temperatura¹⁶, así, la exposición de la humedad del suelo a la rizósfera, influyo en el rendimiento de la planta (Figura 2), coincidiendo con la percepción de los productores y Plan de Desarrollo Municipal del municipio de Patacamaya²⁷.

Por otro lado, se observó, que en Patarani existió una relación inversa, ya que, con una mayor precipitación, el rendimiento de la quinua disminuyó, coincidiendo con otras investigaciones, es decir, una exposición (3) muestra una mayor vulnerabilidad al exceso de agua para esta planta²⁰.

Sensibilidad del rendimiento de la quinua. Se observó que la sensibilidad anual de la quinua depende de su exposición continua a la precipitación, y, por ende, a la humedad en el suelo, vale decir, existe mayor sensibilidad a una alta reducción o a un alto aumento de la variación de la precipitación. Por otro lado, la sensibilidad de la quinua ante eventos de baja precipitación, están confrontados por esta especie de diferentes formas: i) la resistencia a la falta de humedad en el suelo²⁸, ii) al elemento de unión de respuesta a la sequía (respuesta xerofítica)²⁹, iii) a la alta capacidad y eficiencia fotosintética^{6,7,30}, iv) a su estructura anatómica (sistema radicular)³¹ v) al tipo de transpiración que tiene⁶, vi) a su capacidad de tolerancia a potenciales hídricos bajos³², vii) así como a su capacidad de tolerar sequías moderadas en las etapas de crecimiento³³. Todas estas cualidades hacen que la quinua tenga una sensibilidad media a la falta de humedad en el suelo y la baja precipitación. El promedio de sensibilidad de la quinua frente a la falta de humedad y/o precipitación es media (2), las variedades que tienen una tolerancia alta a la sequía pueden sufrir bajas en su rendimiento cuando están sometidas a sequías prolongadas o precipitaciones

relativamente altas que disminuyen su capacidad de transpiración, esto explicaría las diferencias entre variedades de quinua respecto a la sensibilidad durante una variación de precipitaciones, la disminución de las precipitaciones pueden generar daño cuando ocurren en una época fuera de lo normal, o en un lugar, donde normalmente no ocurren este tipo de eventos³⁴.

Capacidad de adaptación del rendimiento de la quinua. Desde que la quinua es tolerante a condiciones de bajas precipitaciones y reducidos volúmenes de agua en el perfil del suelo (condición de zonas áridas), se asume que su rendimiento, es una variable de respuesta de su CA³⁵.

Es importante denotar que la variedad Negra es resistente a las sequias agronómicas y el exceso de agua, excepto en suelos poco profundos y con alta presencia de arcilla y limo. La CA de la quinua (planta considerada como un sistema, y su rendimiento como una respuesta) se comprende como la habilidad de hacer ajustes en el sistema para responder a los efectos del CC, reduciendo los impactos y aprovechando las oportunidades útiles³⁶.

La quinua es una planta con una gran CA a las condiciones climáticas del Altiplano³⁷, en especial la variedad Real, este resultado ya fue corroborado³⁸, así mismo, se observa que la quinua es tolerante al estrés abiótico que incluye la sequía, cualidad que está enmarcada en las características genéticas de esta especie, por lo que la vulnerabilidad climática de esta especie, estaría superada por estas características, por lo que dependería más a condiciones extremas de falta o exceso de agua en el perfil del suelo (por el lado de la sensibilidad de media a baja, y por el lado de la exposición de alta a media)³⁹. Por otro lado, esta especie está adaptada para tolerar condiciones de sequía, que podría contribuir de forma beneficiosa a la gestión del riesgo en las familias de zonas áridas, la resiliencia del agroecosistema y el mantenimiento de la calidad del suelo y el agua⁴⁰.

Vulnerabilidad del rendimiento de la quinua. Se observó que en periodos de alta precipitación, en Chiaraque, la quinua Negra tiene una VR media (2), y en escenarios de baja precipitación, la quinua Real tiene una VR baja (0), así mismo, en periodos de alta precipitación, en Patarani, la quinua Criolla tiene una VR moderada (1), y en escenarios de baja precipitación, la variedad Criolla tiene una VR baja (0), por otro lado, en periodos de alta precipitación, en Alto Patacamaya, las 3 variedades de quinua tienen una media VR (2), y en escenarios de baja precipitación, las 3 variedades tienen una VR moderada (1). Por otro lado, y a pesar de que las 3 variedades están adaptadas a las condiciones del Altiplano, la VR de la quinua estaría ligado a las condiciones climáticas de la región. En ese contexto, se observó que la variedad Criolla fue la que tuvo mayor rendimiento en grano, pero las 3 variedades bajaron sus vulnerabilidades a medida que aumenta la humedad en el suelo, es decir, que una excesiva humedad en el suelo podría disminuir el rendimiento de grano comparado con la falta de humedad en el sistema. Este comportamiento puede encerrar un tipo de vulnerabilidad, asociado a la característica genética de la quinua así como al comportamiento del agricultor respecto del manejo del cultivo, más que al mismo hecho de pasar por periodos de sequía, el cual sólo afectaría de manera crucial en las fases fenológicas de gran requerimiento de humedad^{33,41}. En este sentido, estos autores^{33,41} aseguran que la quinua presenta rasgos de vulnerabilidad agroecológica y social, el primero ligado a las condiciones de tipo ambiental y climatológico, y el segundo relacionado al tipo de manejo que se le da a la quinua dado que está sufriendo una presión antrópica muy fuerte⁴². Por lo que se puede concluir, la quinua en las comunidades de Chiaraque, Patarani y Alto Patacamaya y las variedades Criolla, Negra y Real tuvieron una VR de baja a media. Consecuentemente se puede afirmar que: i) Una excesiva exposición a la

humedad en el suelo (suelos que han pasado la capacidad de campo, o mayores a 34 % para francos) disminuye el rendimiento de la quinua, pero también una menor exposición (suelos próximos al estrés hídrico o menores al 12 % para francos). ii) La variedad que mejor respondió a diferentes grados de exposición, diferentes humedades en la rizósfera, fue la Criolla, teniendo un rango de rendimiento de 80 a 322 kg ha⁻¹ con una variación de humedad de suelo entre 227 a 305 mm. iii) No existió correlación entre la precipitación y el rendimiento, y esto se debió a que la quinua no requiere volúmenes altos de agua en el perfil del suelo. iv) Las 3 variedades de quinua presentaron una alta sensibilidad a la variación de humedad en el suelo. v) Las 3 variedades de quinua tuvieron un rendimiento de grano aceptable, bajo una sensibilidad alta, por lo que posiblemente las variaciones en los patrones de precipitación del 2001 al 2014 no fueron preponderantes en el rendimiento. vi) La CA de las 3 variedades de quinua para el entorno del Altiplano Central es alta. vii) La VR de la quinua en el municipio de Patacamaya fue de baja a media dado que existió una alta CA de estas variedades a las condiciones climáticas del Altiplano Central.

Fuente de financiamiento

Proyecto “Estrategias de adaptación en las cadenas de producción de altura” con recursos de la Cooperación ASDI.

Conflictos de intereses

Este trabajo no tiene conflicto de intereses.

Agradecimientos

Un particular agradecimiento al Dr. Félix Mamani y a la Dra. Magaly García, por sus aportes en la revi-

sión del documento; reconocimiento al proyecto “Estrategias de adaptación en las cadenas de producción de altura”.

Consideraciones éticas

Todos los datos de campo fueron recolectados con el permiso de las autoridades correspondientes del municipio de Patacamaya, así como con el conocimiento de los habitantes y propietarios de las parcelas de muestreo.

Limitaciones en la investigación

Tuvimos problemas para encontrar otras investigaciones similares para comparar los resultados.

Contribución de los autores

Eva Conde Viscarra, recolección de datos en campo, organización, sistematización y análisis de datos. *Emilio García-Apaza*, redacción del artículo, revisión de datos y artículo.

Literatura Citada

1. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambio climático 2007: Informe de síntesis [Internet]. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático; 2007 [citado 2 de marzo de 2014]. 114 p. Recuperado a partir de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
2. Quiroga IA. Impactos del cambio climático en la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos [Internet]. CropLife Latin America. San José, Costa Rica; 2016 [citado 31 de julio de 2014]. Recuperado a partir de: [https://croplifela.org/es/actualidad/impactos-del-cambio-climatico-](https://croplifela.org/es/actualidad/impactos-del-cambio-climatico-en-la-incidencia-de-plagas-y-enfermedades-de-los-cultivos)
3. García M, Raes D, Jacobsen SE. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agric Water Manag* 2003;60(2):119-34. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00162-2)
4. Monterroso-Rivas AI, Conde-Álvarez AC, Gómez-Díaz JD, López-García J. Vulnerabilidad y riesgo en agricultura por cambio climático en la Región Centro del Estado de Veracruz, México. *Zonas Aridas* [Internet]. 2014 [citado 12 de marzo de 2014];11(1):47-60. Recuperado a partir de: <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art03.pdf>
5. García-Apaza E, Mena Herrera C, Conde Viscarra E, Alvares Choque EG, Limachi Lonasco HD, Cusi Cusi IR, et al. Evaluación de la vulnerabilidad y formulación de propuestas de adaptación al cambio climático con enfoque de sistemas de producción agrícola [Internet]. La Paz: Departamento de Investigación, Postgrado, Gestión e Interacción Social; 2015 [citado 12 de marzo de 2014]. 97 p. Recuperado a partir de: https://www.researchgate.net/publication/346551150_Evaluacion_de_la_vulnerabilidad_y_formulacion_de_propuestas_de_adaptacion_al_cambio_climatico_con_enfoque_de_sistemas_de_produccion_agricola
6. Jensen CR, Jacobsen SE, Andersen MN, Núñez N, Andersen SD, Rasmussen L, Mogensen VO. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *Europ J Agronomy* 2000;13(1):11-25. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00055-1)
7. Jacobsen SE, Mujica A, Jensen CR. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adver-

- se abiotic factors. *Food Rev Int* 2003;19(1-2):99-109. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018872>
8. Jacobsen SE, Liu F, Jensen CR. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Sci Hort* 2009;122(2):281-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019>
 9. Atlas UDAPE 2000 [Internet]. La Paz: Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas; 2000 [citado 15 de mayo de 2014]. Recuperado a partir de: https://www.udape.gob.bo/portales_html/portalsIG/atlasUdape1234567/Atlas24-2021/html/index.html#
 10. Conde Viscarra E. Efecto del cambio climático en la sostenibilidad productiva de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en el municipio de Patacamaya en La Paz [tesis licenciatura]. [La Paz]: Universidad Mayor de San Andrés; 2016 [citado 22 de mayo de 2014]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/8358>
 11. García-Apaza E, Mena C, Palacios N, Gutierrez F, Catari R, Cachi I, et al. Manual de capacitación para identificar las estrategias de adaptación al cambio climático en el área de influencia de la Estación Experimental de Patacamaya [Internet]. La Paz. 2014 [citado 22 de mayo de 2014]. 68 p. Recuperado a partir de: <https://acortar.link/IrhQ3m>
 12. Rojas W, Soto JL, Carrasco E, Estudio de los impactos sociales, ambientales y económicos de la promoción de la quinua en Bolivia [Internet]. Cochabamba: PROINPA; 2004 [citado 22 de mayo de 2014]. 82 p. Recuperado a partir de: <https://www.yumpu.com/es/document/read/27317199/estudio-de-los-impactos-sociales-ambientales-y-economicos-de-la->
 13. Anuario estadístico 2015 [Internet]. Instituto Nacional de Estadística. 2015 [citado 5 de marzo de 2016]. Recuperado a partir de: <https://www.ine.gob.bo/index.php/publicaciones/anuario-estadistico-2015/>
 14. Chew C, Small E. The UCAR/CU CYGNSS Soil Moisture Product [Internet]. UCAR/NCAR – COSMIC. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5065/z9nq-8g12>
 15. Martínez Austria PF, Patiño Gómez C, editores. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México [Internet]. Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; 2010. p. 81-113. Recuperado a partir de: <https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros/atlas.pdf>
 16. Monterroso Rivas AI, Conde AC, Gay C, Gómez Díaz JD, López García J, et al. Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. En: Rodríguez Puebla C, Ceballos Barbancho A, González Reviriego N, Morán Tejeda E, Ascensión Hernández Encinas M, editores. VIII Congreso Internacional. Cambio climático. Extremos e impactos 2012. Asociación Española de Climatología [Internet]. Salamanca: Asociación Española de Climatología [citado 3 de mayo de 2015]. p. 811-90. Recuperado a partir de: https://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0086_PU-SA-VIII-2012-A_MONTERROSO.pdf
 17. Ceballos A, Schnabel S, Gómez-Amelia D, Cerdà A. Relación entre la escala espacial y escorrentía superficial en una pequeña cuenca hidrográfica semiárida ante condiciones contrastadas de humedad del suelo (Extremadura, Suroeste de España). *Cuatern Geomorfol* 2012;12(1-2):63-75.
 18. Santibáñez F, Santibáñez P, Solís L, Quiroz M, Hernández J. Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de

- Chile frente a escenarios de Cambio Climático [Internet]. Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2008 [citado 22 de abril de 2014]. 181 p. Recuperado a partir de: https://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-46115_capitulo1_informe_final.pdf
19. Pinto Plaza M. Proyecto de plantación frutal y puesta en riego de 213,69 ha en el T.M. de Lerma (Burgos) [tesis maestría]. [Lérida]: Universidad de Lleida; 2017 [citado 22 de abril de 2014]. 585 p. Recuperado a partir de: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/31755/1/TFM-L388.pdf>
20. Depool Rivero R, Monasterio D. Probabilidad y estadística: aplicaciones a la ingeniería [Internet]. Barquisimeto: Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre; 2013 [citado 22 de octubre de 2015]. 314 p. Recuperado a partir de: <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24762w/9D/ProbabilidadEstadísticaaplicacionesIngeniería.pdf>
21. Lino Bilbao VM. Efecto del cambio climático en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones de sequía en ambientes andinos utilizando el modelo AQUACROP [tesis licenciatura]. [Lima]: Universidad Científica del Sur; 2020. DOI: <https://doi.org/10.21142/tl.2020.1306>
22. Steduto P, Hsiao TC, Fereres E, Raes D. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua [Internet]. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2012 [citado 22 de marzo de 2014]. 530 p. Recuperado a partir de: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/82bd842b-862d-4e51-8794-d80156ddab2e/content>
23. Miranda Balboa GG. Dinámica del comportamiento multitemporal de la cobertura vegetal en un sistema climático del Altiplano Central. RIIARn 2019;6(1):50-6.
24. Blum A. Effective use of water (EUW) and not water use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Res 2009;112(2-3):119-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.009>
25. García Villanueva J, Huahuachampi J, Soto L. Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium quinoa* Willd) en la Molina. Anales Científicos 2017;78(2): 200-9. DOI: <https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1057>
26. Baca M, Läderach P, Ovalle D, Ocón S, Gomez L, Garcia S, Carmona S. Vulnerabilidad y estrategias de adaptación al cambio climático en los medios de vida de las familias cafetaleras de Nicaragua [Internet]. Mangua: Centro Internacional de Agricultura Tropical; 2011 [citado 22 de abril de 2014]. 43 p. Recuperado a partir de: https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/Publicaciones%20nacionales%20Cambio%20Climatico/Informe_final_de_Vulnerabilidad-CUP-NIC-2011.pdf
27. Zurita-Silva A, Jacobsen SE, Razzaghi F, Alvarez-Flores R, Ruiz KB, Morales A, et al. Respuestas a la sequía y adaptación de a quinua. En: Bazile D, Bertero D, Nieto C, editores. Estado del Arte de la Quinua en el Mundo en 2013 [Internet]. Montpellier: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2013. p. 185-201. Recuperado a partir de: <https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/7-LIBRO-Estado-del-Arte-de-la-Quinua.pdf>
28. Claeys H, Inzé D. The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions. Plant Physiol 2013;162(4): 1768-79. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.2.20921>
29. Bhargava A, Ohri D. Origin of genetic variability and improvement of quinua (*Chenopodium*

- quinoa* Willd.). In: Rajpal VR, Rao SR, Raina SN, editors. Gene Pool Diversity and Crop Improvement. Cham: Springer Cham; 2016. p. 241-70. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27096-8_8
30. Nakashima K, Ito Y, Yamaguchi-Shinozaki K. Transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in *Arabidopsis* and grasses. *Plant Physiol* 2009;149(1):88-95. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.108.129791>
31. Álvarez-Flores RA. Réponses morphologiques et architecturales du système racinaire au déficit hydrique chez des *Chenopodium* cultivés et sauvages d'Amérique andine [thesis doctoral]. [Montpellier]: Université Montpellier; 2012 [cited May 22, 2015]. 34 p. Retrieved from: <https://theses.hal.science/tel-02612220>
32. Bosque Sanchez H, Lemeur R, Van Damme P, Jacobsen SE. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Rev Int* 2003;19(1-2):111-9. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018874>
33. Geerts S, Raes D, García M, Vacher J, Mamani R, Mendoza J, et al. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) 2008; *Eur J Agron* 2008;28(3): 427-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.008>
34. Hay J. Extreme weather and climate events, and farming risks. In: Sivakumar MV, Motha RP, editors. *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture*. Heidelberg: Springer Berlin; 2007. p. 1-19. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-72746-0_1
35. Liuhto M, Mercado G, Aruquipa R. El cambio climático sobre la producción de quinua en el altiplano boliviano y la capacidad de adaptación de los agricultores. *RIIARn* 2016;3(2):166-78.
36. McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS, editors. *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability* [Internet]. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2001 [cited May 22, 2015]. 34 p. Retrieved from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf
37. Winkel T, Álvarez-Flores R, Bommel P, Bourliand J, Chevarría Lazo M, Cortés G, et al. Altiplano del Sur de Bolivia. En: Bazile D, Bertero D, Nieto C, editores. *Estado del Arte de la Quinua en el Mundo en 2013* [Internet]. Montpellier: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2013. p. 432-49. Recuperado a partir de: <https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/7-LIBRO-Estado-del-Arte-de-la-Quinua.pdf>
38. Rojas W. Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. *Food Rev Int* 2003;19(1-2):9-23. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018864>
39. Chevarría-Lazo M, Bazile D, Dessauw D, Louafi S, Trommetter M, Hocde H. Los sistemas que regulan el intercambio de los recursos genéticos: importancia para el acceso, la circulación y la innovación en el caso de la quinua En: Bazile D, Bertero D, Nieto C, editores. *Estado del Arte de la Quinua en el Mundo en 2013* [Internet]. Montpellier: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2013. p. 95-123. Recuperado a partir de: <https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/7-LIBRO-Estado-del-Arte-de-la-Quinua.pdf>
40. Drucker AG, Pascual U, Narloch U, Midler E, Soto JL, Pinto M, et al. Los pagos voluntarios para la conservación de la diversidad de la quinua: explorando el papel de los pagos por servicios ambientales en los Andes. En: Bazile D, Bertero D, Nieto C, editores. *Estado del Arte de*

la Quinoa en el Mundo en 2013 [Internet]. Montpellier: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2013. p. 124-36. Recuperado a partir de: <https://ciq.org.bo/wp-content/uploads/2022/09/7-LIBRO-Estado-del-Arte-de-la-Quinoa.pdf>

41. Jackson LE, Pascual U, Hodking T. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agric Ecosyst Environ* 2007;121(3):196-210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.017>
42. Bhargava A, Shukla S, Ohri D. *Chenopodium quinoa* - An Indian perspective. *Ind Crops Prod* 2006;23(1):73-87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002>

Nota del Editor:

Journal of the Selva Andina Biosphere (JSAB). Todas las afirmaciones expresadas en este artículo son únicamente de los autores y no representan necesariamente las de sus organizaciones afiliadas, o las del editor, editores y los revisores. Cualquier producto que pueda ser evaluado en este artículo, o la afirmación que pueda hacer su fabricante, no está garantizado o respaldado por el editor.