

## Alternativas de Manejo de Suelos en Regiones Áridas del Altiplano Sur de Bolivia

### Soil Management Alternatives in Arid Regions of The Southern Highlands of Bolivia

Cresencio Calle-Cruz<sup>1\*</sup>, Milton Villca-Sánchez<sup>1</sup> y Alejandro Bonifacio-Flores<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fundación PROINPA, Sucre, Bolivia.

\*Autor para la correspondencia: [c.calle@proinpa.org](mailto:c.calle@proinpa.org)

Recibido: 19 de julio de 2023; Revisión: 10 de agosto de 2023; Aceptado: 14 de agosto de 2023

doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8247890>

#### RESUMEN

El Altiplano Sur de Bolivia se encuentra a una altitud entre 3800 a 4000 msnm y se caracteriza por frecuentes sequías, con una precipitación anual de 200 mm, que se concentra principalmente en enero y febrero. Los suelos, clasificados como Fluvisoles y Cambisoles según la FAO debido a la cercanía al Salar de Uyuni, presentan bajos contenidos de materia orgánica (menor a 5 g kg<sup>-1</sup>). La erosión eólica y la salinidad representan desafíos para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinua* Willd.), que es el principal cultivo en esta región, destinado tanto al autoconsumo como al mercado. Las prácticas actuales de manejo de la quinua tienen limitaciones que comprometen el uso sostenible del suelo. Como alternativas para mejorar estas condiciones, se promueven las siguientes prácticas: 1. Rotación de cultivos, con el uso de leguminosas seguidas de quinua y un periodo de descanso para favorecer la fertilidad del suelo; 2. Implementación de barreras vivas, utilizando arbustos y pastos nativos para disminuir la erosión, especialmente la eólica; 3. Aplicación de estiércol mejorado o descompuesto para mejorar la fertilidad del suelo; 4. Uso de abonos verdes, como *Lupinus* sp.; y 5. Implementación de labranzas reducidas mediante el uso de implementos de tipo vertical que no invierten el suelo. Aunque el uso de esta última alternativa es aún incipiente. La implementación de estas alternativas ha demostrado incrementar los rendimientos de cultivo hasta en un 30% bajo las condiciones de aridez del altiplano boliviano.

**Palabras clave:** Suelos áridos, quinua, degradación de suelos, altiplano boliviano.

#### ABSTRACT

The Southern Altiplano of Bolivia is situated at an elevation between 3800 and 4000 meters above sea level and is characterized by frequent droughts, with an annual precipitation of 200 mm, mainly concentrated in January and February. The soils in this area, classified as Fluvisols and Cambisols according to FAO due to their proximity to the Salar de Uyuni, exhibit low organic matter content (less than 5 g kg<sup>-1</sup>). Wind erosion and salinity pose challenges to the cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), which is the primary crop in this region, serving both for subsistence and commercial purposes. Current quinoa management practices have limitations that compromise the sustainable use of the soil. To improve these conditions, the following practices are being promoted: 1. Crop rotation, utilizing legumes followed by quinoa, with a resting period to enhance soil fertility; 2. Implementation of living barriers, using native shrubs and grasses to reduce erosion, especially wind erosion; 3. Application of improved or decomposed manure to enhance soil fertility; 4. Adoption of green manure, such as *Lupinus* sp.; and 5. Implementation of reduced tillage through the use of vertical implements that do not invert the soil. Although the utilization of this last alternative is still in its early stages. The implementation of these alternatives has shown to increase crop yields by up to 30% under the arid conditions of the Bolivian Altiplano.

**Key words:** Arid soils, quinoa, soil degradation, Bolivian highlands.

## INTRODUCCIÓN

La baja productividad de los cultivos en las zonas áridas andinas de Bolivia se atribuye principalmente a la degradación de los suelos, causada por la pérdida de materia orgánica y prácticas de laboreo inadecuadas. Gran parte de estos suelos pertenecen a las categorías de Fluvisoles y Cambisoles (IUSS Working Group WRB, 2015), debido a su proximidad al Salar de Uyuni. En estas regiones, los suelos presentan porcentajes de materia orgánica inferiores al 1% (Calle et al., 2019). Esta situación, combinada con el riesgo climático caracterizado por escasa precipitación (200 mm año<sup>-1</sup>) o una distribución desequilibrada, especialmente en los últimos 30 años durante el ciclo de cultivo, ha resultado en rendimientos bajos para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) (Hervé et al., 2002; Rodríguez, 2015; Nasir y Toth, 2022).

En el Altiplano Sur, las prácticas de manejo de cultivos, como la quinua, enfrentan dificultades debido al inadecuado laboreo y el deficiente manejo de la fertilidad del suelo. Como resultado, se buscan soluciones a corto plazo para hacer frente a la ampliación de la frontera agrícola, impulsada por el incremento del precio de la quinua en los últimos años. Sin embargo, esta expansión está comprometiendo seriamente el uso sostenible del suelo, ya que en cada cosecha se observa una disminución en la productividad debido a la escasez de nutrientes y materia orgánica en el suelo (Kempnaer, 2012).

El bajo nivel de productividad conlleva a la inseguridad alimentaria y problemas de desnutrición en estas poblaciones rurales, dado que una gran parte de la producción está destinada al mercado local. El objetivo del trabajo fue evaluar el uso de prácticas orientadas al manejo sostenible de los suelos en las zonas áridas del Altiplano Sur boliviano por

parte de los productores. Se busca comprender la efectividad y la adopción de estas prácticas como una estrategia para mejorar la productividad agrícola y afrontar los desafíos de la degradación del suelo en estas regiones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las gestiones agrícolas de 2020 y 2021, se llevaron a cabo evaluaciones en ocho comunidades (Sonturo, Vichaj, Ankasoca, Hualcani, Chita, Chacala, Colchani, Queasa) ubicadas en la región del Altiplano Sur de Bolivia, a una altitud entre 3800 y 4000 metros sobre el nivel del mar.

En estas regiones áridas, la precipitación anual es escasa, alcanzando 200 mm durante los meses de diciembre (15%), enero (36%), febrero (31%) y marzo (12%). La temperatura media se mantiene por debajo de los 10 °C, con mínimas de -10 °C y máximas de 21 °C (Calle et al., 2020). Durante el ciclo agrícola de 2020 y 2021, las lluvias se concentraron principalmente en los meses de enero y febrero, aunque el total anual se aproximó a la media histórica. Los suelos predominantes son arenosos y corresponden a las categorías de Fluvisoles y Cambisoles (Gardi et al., 2014).

En este estudio se evaluaron 72 campos de producción de quinua, empleando diversas prácticas de conservación y manejo sostenible del suelo, que incluyeron el uso de estiércol, barreras vivas, el uso de semillas de buena calidad y el manejo de insectos plaga, además de descansos mejorados con el uso de leguminosas. Con el propósito de analizar el rendimiento del grano de quinua, se realizaron mediciones en campo y se evaluó la efectividad de estas prácticas de uso sostenible del suelo.

Los detalles y ubicaciones de las localidades son los siguientes: Sonturo (15 campos - Lat. 19°35'42,76" Long. 67°18'13,44"), Vichaj (16 campos - Lat. 19°15'59,03" Long. 66°44'51,3"), Ankasoca (14 campos - Lat. 18°54'21,45" Long. 66°47'33,98"), Hualcani (6 campos - Lat. 18°44'08,28" Long. 66°40'23,4"), Chita (15

campos - Lat. 20°20'25" Long. 66°53'21"), Chacala (4 campos - Lat. 20°09'35,4" Long. 66°51'11,3"), Colchani (1 campo - Lat. 20°10'11" Long. 66°48'12"), Queasa (1 campo - Lat. 20°19'0,1" Long. 66°53'56").

El análisis de suelos (Tabla 1) realizado en tres sitios (Chacala, Chita y Colchani) revela

valores bajos en varios parámetros (como materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y calcio). Estos valores indican la escasa fertilidad de dichos suelos y reflejan un estado de degradación acentuado, en parte debido al excesivo laboreo y la insuficiente reposición de nutrientes y materia orgánica.

**Tabla 1.** Valores medios de análisis de suelos de tres sitios (Chacala, Chita y Colchani) representativos en el Altiplano Sur de Bolivia

Parámetros	Unidad	Resultado (rangos)	Interpretación
pH 1:5 Agua	--	6,09 – 6,72	Ligeramente ácido a neutro
C.E. 1:5	dS m <sup>-1</sup>	0,04 - 0,27	Ninguna
Salinidad	%	0 - 0,01	Ninguna
A	%	87 - 94	Arenoso
L	%	6 – 11	
Y	%	0 – 2	
Textura		A	
Carbono Orgánico Total	g kg <sup>-1</sup>	0,21 – 0,29	Muy bajo
Nitrógeno Total	g kg <sup>-1</sup>	0,08 – 0,16	Bajo a normal
Relación C/N		1,5 – 3,44	Desequilibrado
Fósforo asimilable	mg kg <sup>-1</sup>	5,13 – 9,39	Bajo
Potasio intercambiable	cmolc kg <sup>-1</sup>	0,16 - 0,28	Muy bajo a bajo
Calcio intercambiable	cmolc kg <sup>-1</sup>	3,86 – 4,31	Bajo
Magnesio intercambiable	cmolc kg <sup>-1</sup>	0,77 – 1,19	Bajo
Hierro	mg kg <sup>-1</sup>	3,64 – 7,33	Óptimo a alto

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

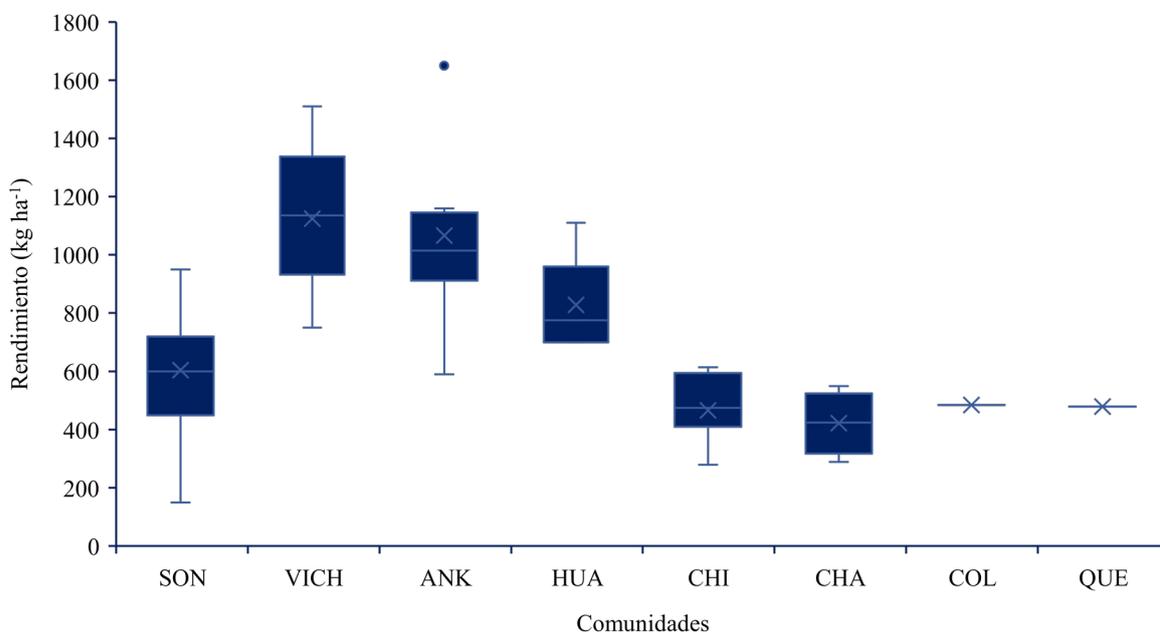
El promedio del rendimiento de quinua en las 72 parcelas distribuidas en las ocho comunidades de evaluación fue de 760,65 kg ha<sup>-1</sup>, con una desviación estándar de 350 kg ha<sup>-1</sup>. Cabe destacar que la media para esta región se sitúa en 500 kg ha<sup>-1</sup> (Rojas et al., 2022). En cuanto a los rendimientos obtenidos, los productores utilizan al menos dos o tres prácticas de las evaluadas, principalmente el control de insectos, la implementación de barreras vivas y el uso de estiércol.

En las comunidades de Vichaj y Ankasoca, se lograron rendimientos por encima de los 1000 kg ha<sup>-1</sup>, lo cual puede atribuirse a mejores condiciones de precipitación en comparación con Uyuni y Salinas. Al analizar la dispersión de los rendimientos por municipios, se observó una mayor variabilidad en las comunidades de Sonturo, Vichaj y Ankasoca, mientras que, en Chita y Chacala, los rendimientos fueron más homogéneos (Figura 1).

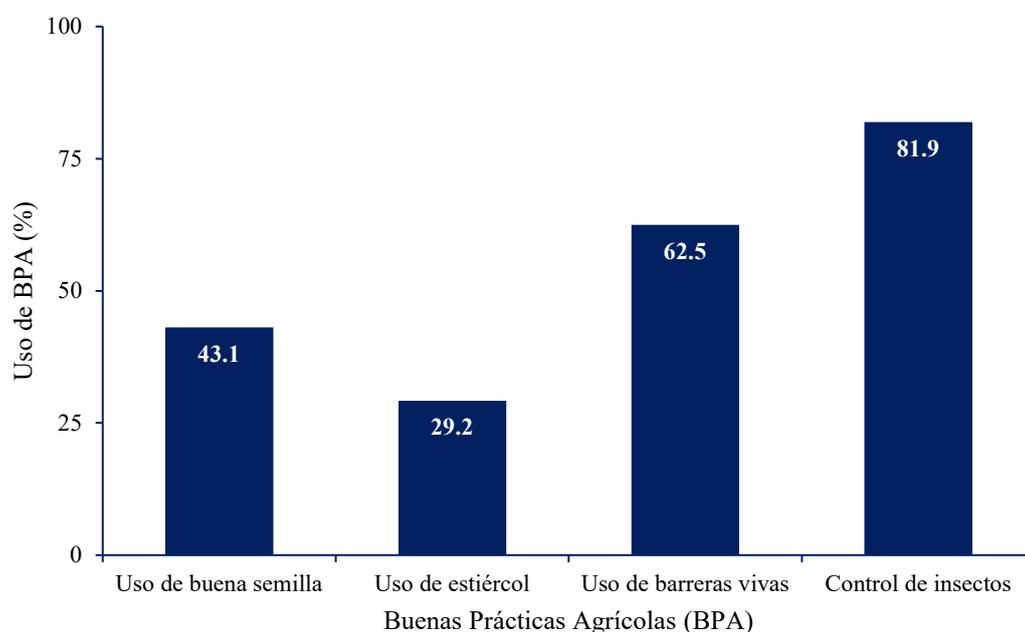
Al llevar a cabo una evaluación cuantitativa del empleo de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en los 72 campos de cultivo de quinua, se constató que un 81,9% de los agricultores implementa el manejo y control de plagas, utilizando principalmente productos orgánicos. El uso de barreras vivas de propósito múltiple en las parcelas de quinua es practicado por el 62,5% de los productores, empleando principalmente arbustos nativos de crecimiento lento que alcanzan alturas de hasta 2 metros. Ejemplos de estos arbustos son la Supu Tola (*Parastrephia lepidophylla* Wedd. Cabrera), que se adapta a suelos arenosos; Uma Tola (*Parastrephia lucida* Meyen. Cabrera), que se adapta a diferentes suelos preferentemente en suelos con mayor humedad; y Ñaka Tola (*Baccharis tola* Phil), que prospera en una amplia variedad de texturas de suelo, incluyendo arenosos, franco, arcillosos o pedregosos.

El uso de semillas de calidad es reportado por el 43,1% de los productores, mientras que el empleo de estiércol es una práctica adoptada por el 29,2% de los productores a los que se les hizo seguimiento (Figura 2).

**Figura 1.** Dispersión del rendimiento de quinua en 8 comunidades del Altiplano Sur de Bolivia, 2021 (Son=Sonturo 15 campos, Vich=Vichaj 16 campos, Ank=Ankasoca 14 campos, Hua=Hualcani 6 campos, Chi=Chita 15 campos, Cha=Chacala 4 campos, Col=Colchani 1 campo, Que=Queasa 1 campo)



**Figura 2.** Porcentaje del uso de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en 8 comunidades del Altiplano Sur de Bolivia, 2021



Finalmente, el uso de coberturas vegetales o descansos mejorados con leguminosas sigue siendo una práctica poco común. Solo en algunas comunidades del municipio de Uyuni se han identificado casos de productores que

emplean este enfoque, posiblemente debido a la limitada disponibilidad de semillas.

Por otro lado, la labranza vertical o mínima es un concepto poco conocido en esta área y sigue

siendo un desafío pendiente, especialmente dadas las condiciones de los suelos locales.

En los campos objeto de evaluación, se observó que el 28% implementa una buena práctica, el 28% emplea dos prácticas, y el 32% utiliza tres prácticas. Aunque los rendimientos aumentan en función del número de prácticas utilizadas, esta relación no resulta estadísticamente significativa (Figura 3).

Se evaluaron 46 barreras vivas establecidas en parcelas de quinua en cuatro localidades del Altiplano Sur: Chita, Chacala, Sonturo y Cotaña. Las barreras vivas evaluadas presentaron alturas que oscilan entre 0,48 a 1,4 metros, con un ancho que va de 1,51 a 3,86

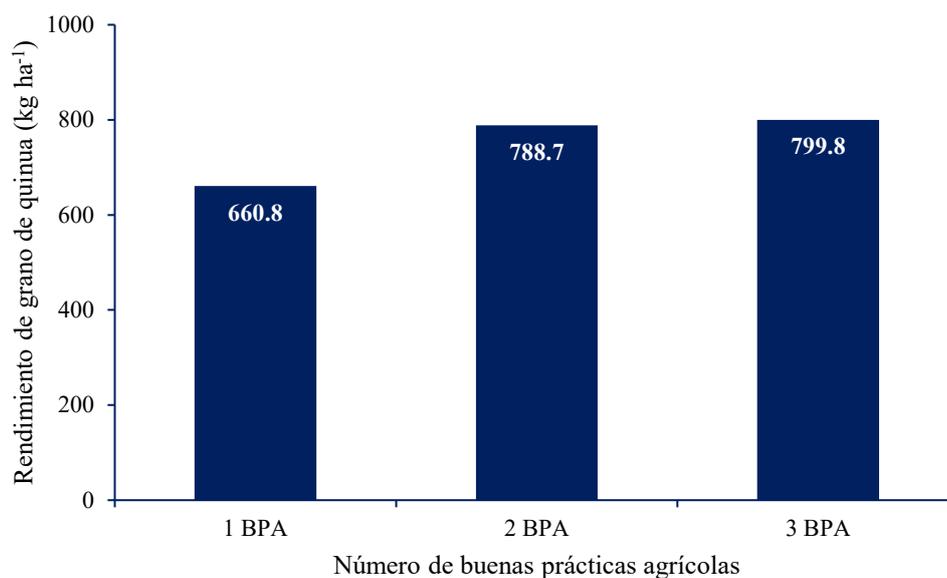
metros (Tabla 2). De todas las barreras evaluadas, 19 son de implementación reciente. Estas barreras vivas, que emplean especies autóctonas, tienen múltiples propósitos: promueven la biodiversidad de insectos y mamíferos pequeños, son fuente de recursos medicinales, algunas proveen forraje para las llamas y, sobre todo, contribuyen a la recuperación de la cobertura vegetal nativa.

Una de las limitaciones para una mayor expansión de la reforestación con arbustos nativos es la disponibilidad de semillas y/o plantines, un aspecto en el cual ya se han iniciado medidas para abordar esta restricción.

**Tabla 2.** Barreras vivas evaluadas multiespecies en la gestión 2021 en 4 localidades del Altiplano Sur de Bolivia

Mediciones	Chita/Chacala	Sonturo	Cotaña	Total/Media
Número de barreras	22	12	12	46
Longitud (m)	3220	1420	1520	6160
Ancho medio (m)	1,86	3,86	1,51	2,41
Altura media (m)	0,48	1,40	0,61	0,83
Volumen medio (m <sup>3</sup> )	2875	7674	1400	11949
Ancho máximo (m)	3,0	5,0	2,5	3,5
Ancho mínimo (m)	1,0	2,0	0,6	1,2
Altura máxima (m)	1,00	1,74	1,31	1,35
Altura mínima (m)	0,70	0,90	0,12	0,58

**Figura 3.** Relación del rendimiento de quinua y el número de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) aplicadas en el Altiplano Sur de Bolivia, 2021



## CONCLUSIONES

Debido a las condiciones limitantes presentes en las regiones áridas del Altiplano Sur de Bolivia, como la escasa precipitación, la erosión eólica, la baja fertilidad y las bajas temperaturas, las alternativas para un manejo sustentable del suelo son limitadas. Entre las prácticas que los productores emplean con mayor frecuencia se encuentran el control de plagas, la implementación de barreras vivas, la aplicación de estiércol y el uso de semillas mejoradas de quinua.

### Agradecimientos

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), al Centro Internacional de Investigación Agrícola en Zonas Secas (ICARDA), al apoyo financiero del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) y a la Fundación PROINPA.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

- Calle, C., Bonifacio, A., Villca, M., Alcón, M., y Aroni, G. (2019). *Prácticas de uso sostenible de suelo en zonas semiáridas*. FUNDACIÓN PROINPA, CIMMYT e ICARDA.
- Calle, C., Bonifacio, A., Villca, M., Aroni, G., Alcón, M., López, S. y Shing, R. (2020). Arbustos y pastos para restablecer la cobertura vegetal en zonas áridas del sur de Bolivia. FUNDACIÓN PROINPA, CIMMYT e ICARDA.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (Ed.). (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Hervé, D., Ledezma R., Orsag, V. (Ed.). (2002). *Limitantes y Manejo de los Suelos Salinos y/o Sódicos en el altiplano boliviano*. IRD - Institut de recherche pour le développement.
- IUSS Working Group WRB, (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106*. FAO.
- Rodríguez, R. (2015). *Evaluación del Grado de Fertilidad del Suelo para la Producción de Trigo en los Departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí*. Informe de Consultoría.
- Rojas, J. Guixig Ren y Mujica, A. (Ed.). (2022). *La Quinua, el grano sagrado de los incas*. UMSS.
- Kempnaer, S. (2012). *Proyecto de seguridad alimentaria y económica en Oruro: vínculos con el medio ambiente*. Louvain Cooperation.
- Nasir, M. W. & Toth, Z. (2022). Effect of Drought Stress on Potato Production: A Review. *Agronomy*, 12(3), 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>