

REQUERIMIENTOS EDÁFICOS Y CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE LA QUINUA: GUÍA TÉCNICA*

Abel Ajhuacho **

Marlene Baldivieso ***

La Paz, Bolivia – Octubre de 2024

Las opiniones expresadas en este documento pertenecen al (los) autor(es) y no necesariamente reflejan la posición oficial de las instituciones auspiciadoras ni de la Fundación INESAD (Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo). Los derechos de autor pertenecen al autor y/o a las instituciones auspiciadoras si hubieran. El documento puede ser descargado solamente para uso personal.

* La Guía forma parte del proyecto “*Creating Indigenous Women’s Green Jobs under Low-carbon COVID-19 Response and Recovery in the Bolivian Quinoa Sector*”, que es auspiciado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC) de Canadá. Los autores agradecen los comentarios y contribuciones para el desarrollo del documento de Beatriz Muriel H. y Oscar Colque. Las opiniones y los posibles errores son de entera responsabilidad de los autores.

** Investigador invitado de INESAD

*** Coordinadora de Comunicación de INESAD (mbaldivieso@inesad.edu.bo)

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo de la guía	1
2. REQUERIMIENTOS EDÁFICOS PARA EL CULTIVO DE LA QUINUA.....	1
2.1. pH del Suelo.....	1
2.2. Conductividad Eléctrica.....	2
2.2.1. Suelos Salinos.....	2
2.2.2. Suelos Sódicos	2
2.2.3. Suelos salino-sódicos	2
2.3. Nitrógeno.....	2
2.4. Fósforo.....	3
2.5. Potasio	3
2.6. Otros Nutrientes y sus requerimientos	3
2.7. Erosión de Suelo.....	3
2.7.1. Erosión Hídrica:	3
2.7.2. Erosión Eólica:	3
2.7.3. Factores que Influyen en la Erosión Eólica:.....	4
2.8. Conservación de suelos.....	4
2.8.1. Prácticas vegetativas para la conservación del suelo:	4
2.8.2. Prácticas agronómicas para la conservación del suelo:.....	5
3. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE LA QUINUA	5
3.1. Altitud	5
3.2. Temperatura.....	5
3.3. Precipitaciones	6
3.4. Humedad Relativa	7
3.5. Radiación Solar	8
3.6. Luminosidad.....	8
3.7. Velocidad del suelo.....	9
3.7.1. Ventajas:.....	9
3.7.2. Desventajas:	9
3.8. Temperatura del Suelo.....	9
4. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS CLIMÁTICOS PARA EL CULTIVO DE QUINUA.....	11
4.1. Estaciones Meteorológicas Activas:.....	11
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	14
6. BIBLIOGRAFÍA.....	146
7. ANEXOS.....	188



REQUERIMIENTOS EDÁFICOS Y CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE LA QUINUA: GUÍA TÉCNICA

RESUMEN

La quinoa, es un cultivo adaptado a condiciones climáticas extremas y suelos particulares, lo que la convierte en un recurso vital para las comunidades locales y una fuente de ingresos significativa para los pequeños productores.

La guía aborda aspectos clave para el cultivo exitoso de la quinoa, como la temperatura del suelo, la duración del día, los días de frío y otros factores ambientales que influyen en su desarrollo. Se analizan datos específicos acerca de la temperatura del suelo a diferentes profundidades, la influencia de las temperaturas extremas en el crecimiento de la planta y la importancia de la duración del día para el proceso de floración y producción de semillas.

Además, se exploran aspectos relacionados con la adaptabilidad de la quinoa a condiciones climáticas variables, su anatomía especializada para maximizar la eficiencia fotosintética y su capacidad para resistir condiciones adversas como la radiación solar intensa y la pérdida de agua. El documento también destaca la importancia de seleccionar variedades de quinoa adecuadas para las condiciones climáticas locales a fin de garantizar un crecimiento y desarrollo óptimos de los cultivos.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la quinua en el altiplano sur de Bolivia enfrenta diversos desafíos, entre los que se destacan la erosión del suelo y las condiciones climáticas adversas. En este contexto, se considera importante comprender los factores que influyen en la producción agrícola y desarrollar estrategias efectivas para mitigar los efectos negativos del clima y promover prácticas sostenibles de manejo del suelo.

Además, se revisan los datos climáticos obtenidos de fuentes confiables, como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi) de Bolivia, con el fin de comprender las tendencias climáticas y su impacto en la producción de quinua. Se discuten las variaciones en la precipitación, las temperaturas y la velocidad del viento a lo largo de los años, y se proponen recomendaciones para optimizar la producción agrícola en función de estas condiciones climáticas cambiantes.

En este documento, se analizan los aspectos relacionados con la erosión del suelo, las condiciones climáticas y las prácticas agronómicas en el cultivo de la quinua en el altiplano sur. Se examinan las causas y consecuencias de la erosión, así como las estrategias de conservación del suelo, como las barreras vivas y la reforestación, para contrarrestar este fenómeno.

En última instancia, esta guía busca proporcionar información para los agricultores, con el objetivo de mejorar la resiliencia y la sostenibilidad de la producción de quinua en el altiplano sur de Bolivia.

1.1. Objetivo de la guía

- Describir las características agroclimáticas principales para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd).

2. Requerimientos Edáficos para el cultivo de la Quinua

2.1. pH del Suelo

El pH del suelo desempeña un papel importante en el crecimiento de la quinua al influir en la disponibilidad de nutrientes. Para un desarrollo óptimo, la quinua prospera en suelos con un pH que generalmente oscila entre ligeramente ácido, neutro a ligeramente alcalino preferiblemente entre 6.5 y 8.5. Sin embargo, es importante reconocer que la tolerancia de la quinua al pH del suelo puede variar ligeramente según la variedad.

PH DEL SUELO ÓPTIMO

Entre 6.5 Y 8.5

Un pH del suelo adecuado es fundamental para asegurar una disponibilidad óptima de nutrientes para la quinua. Cuando el pH del suelo es demasiado ácido o alcalino, puede obstaculizar la absorción de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio, lo que afecta negativamente el crecimiento y desarrollo de la planta. Por lo tanto, mantener un pH del suelo dentro del rango preferido es esencial para fomentar un crecimiento saludable y una producción satisfactoria de quinua.

2.2. Conductividad Eléctrica

La salinidad del suelo es uno de los principales factores que limitan la explotación agropecuaria, ocupando el segundo lugar en la degradación mundial de suelos, solo por detrás de la erosión. Según la FAO, la salinización de las tierras irrigadas avanza anualmente a un ritmo del 1 al 2%. Además, las tierras disponibles para futuros usos agrícolas se encuentran mayormente en regiones áridas y semiáridas, donde la salinidad es de origen natural. Estas áreas presentan un alto riesgo de salinización debido a las prácticas de irrigación utilizadas (Larrieu, Clausi, & Bongiorno, 2016).

Tabla 1 Clasificación de suelos afectados por Sal

Clasificación	ph	CE (dS/m)	PSI	Proceso
Salina	<8.5	4	<15	Salinización
Salino-Sódico	8.5	4	15	Salinización - Sodificación
Sódico	>8.5	<4	15	Sodificación

Fuente: Otero, L. y Francisco, A. (2017)

La clasificación de suelos afectados por sal se divide en tres categorías: **salinos**, **salino-sódicos** y **sódicos**, cada uno con diferentes características en términos de pH, conductividad eléctrica (CE), y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI). Los suelos **salinos** tienen alta salinidad ($CE \geq 4$ dS/m) pero bajo sodio ($PSI < 15$), con un pH inferior a 8.5. Los **salino-sódicos** presentan tanto alta salinidad como niveles elevados de sodio ($PSI \geq 15$), y un pH de alrededor de 8.5. Los **sódicos**, en cambio, tienen baja salinidad ($CE < 4$ dS/m) pero un alto contenido de sodio ($PSI \geq 15$), con un pH superior a 8.5. Estos factores influyen negativamente en la estructura del suelo y en la capacidad de las plantas para absorber agua, afectando el rendimiento agrícola.

2.2.1. Suelos Salinos

Son aquellos suelos que contienen una cantidad suficiente de sales solubles que interfieren con el crecimiento de las plantas. Estas sales solubles pueden incluir cloruro de sodio, cloruro de calcio y sulfatos de calcio.

2.2.2. Suelos Sódicos

Son suelos que no contienen sales solubles, presentan baja permeabilidad y tienden a formar capas duras de carbonato de calcio cuando este se precipita.

2.2.3. Suelos salino-sódicos

Son suelos que presentan tanto acumulación de sales solubles como un alto contenido de sodio, lo que genera problemas para el crecimiento de las plantas.

2.3. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es indispensable para el desarrollo de las plantas, ya que promueve un crecimiento rápido y vigoroso. Es un componente esencial de la clorofila, así como de los aminoácidos y proteínas. Una planta bien nutrida con nitrógeno brota rápidamente y desarrolla un abundante crecimiento de hojas y tallos, adquiriendo un color verde oscuro debido a la alta concentración de clorofila, lo que influye directamente en el rendimiento de los cultivos.

2.4. Fósforo

El fósforo es un elemento esencial para las plantas, participando en la mayoría de sus reacciones bioquímicas, como la respiración, la síntesis y descomposición de carbohidratos, y la síntesis de proteínas. La planta lo necesita a lo largo de todo su ciclo de cultivo, siendo el período crítico de máximo requerimiento desde la germinación hasta los primeros 45 días después de la siembra.

2.5. Potasio

El potasio, como regulador del crecimiento de las plantas, se localiza en las zonas activas de crecimiento, especialmente en los tejidos jóvenes, donde forma parte de las fibras esclerenquimatosas. Estas fibras proporcionan mayor firmeza y mejores tejidos de sostén, lo que aumenta la estabilidad de la planta en muchos cultivos. Además, el potasio contribuye a la resistencia de la planta en condiciones de sequía, actuando como osmoregulador y facilitando un mejor uso del agua al mantener la turgencia celular (control del cierre y apertura de los estomas). También incrementa la resistencia de la planta a las heladas y a diversas enfermedades.

2.6. Otros nutrientes y sus requerimientos

Son elementos indispensables para el crecimiento, la producción y la reproducción de las plantas ya que intervienen directamente en su nutrición. Pueden formar parte de las moléculas de la materia viva o actuar como catalizadores en diversas reacciones enzimáticas. Se consideran esenciales cuando cumplen una función específica dentro de la planta. Si alguno de estos elementos falta o es deficiente, la planta no puede completar su ciclo vegetativo. Los síntomas de deficiencia en los cultivos solo pueden corregirse mediante la adición del nutriente específico que falta.

Tabla 2. 1000 kg equivalentes a 21.7 qq de quinua con el siguiente requerimiento más la adición de materia orgánica

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Kg/t	37	9	43	23	20	2.5	0.6	0.08	0.03	0.02	0.08

Fuente: Fundación INESAD 2023

2.7. Erosión de suelo

La erosión del suelo es un proceso natural y antropogénico que conlleva el desgaste y transporte de partículas del suelo, siendo un fenómeno selectivo. Se distinguen dos formas principales de erosión: la erosión hídrica, impulsada por el agua, y la erosión eólica, provocada por el viento. Dada la escasez de precipitaciones en el altiplano, la erosión eólica tiene un impacto significativo.

2.7.1. Erosión hídrica:

La erosión hídrica es el proceso mediante el cual el flujo de agua elimina partículas de suelo o roca de la superficie. La fuerza del impacto de las gotas de lluvia puede dispersar y arrastrar estas partículas, dando inicio al proceso de erosión pluvial.

2.7.2. Erosión eólica:

La erosión eólica, por otro lado, ocurre cuando el viento levanta y desplaza partículas de suelo en diversas direcciones. Este fenómeno se manifiesta con mayor gravedad en regiones áridas y semiáridas, como el altiplano, donde ciertos factores aumentan su intensidad.

2.7.3. Factores que influyen en la erosión eólica:

- **Clima:** La velocidad del viento es el principal impulsor de la erosión eólica. Se ha observado que incluso vientos relativamente suaves pueden iniciar este proceso, lo que hace que el altiplano, con vientos frecuentes, sea especialmente vulnerable.
- **Características del suelo:** La textura y estabilidad del suelo juegan un papel importante. Los suelos de textura gruesa son más susceptibles a la erosión, especialmente cuando carecen de estructuras estables que puedan resistirla.
- **Rugosidad de la superficie:** La presencia de obstáculos naturales, como rocas o vegetación, reduce la velocidad del viento y disminuye la erosión.
- **Exposición al viento:** Las áreas expuestas, como las laderas de las colinas, son más propensas a la erosión eólica. La cobertura vegetal puede mitigar este efecto.
- **Vegetación:** La vegetación actúa como una barrera protectora, absorbiendo parte de la energía del viento y previniendo la erosión del suelo.

2.8. Conservación de suelos

Para mitigar la erosión del suelo y mantener su productividad, es vital implementar prácticas adecuadas de conservación del suelo. Estas pueden dividirse en prácticas vegetativas y agronómicas, destinadas a controlar la erosión y preservar la fertilidad del suelo.

2.8.1. Prácticas vegetativas para la conservación del suelo:

- **Barreras vivas:** La estrategia de las barreras vivas se emplea para reducir la erosión eólica al crear obstáculos naturales que disminuyen la velocidad del viento y limitan el arrastre de materiales. Estas barreras consisten en dejar áreas de vegetación, como Thola u otras especies nativas, cada cierta distancia en terrenos cultivados. Es esencial orientar las barreras en la dirección del viento para maximizar su efectividad y proteger las zonas de cultivo.
- **Rotación de cultivos y descanso de parcelas:** La rotación de cultivos y el descanso de parcelas son prácticas arraigadas en el altiplano para mantener la fertilidad del suelo. El descanso periódico permite que el suelo se recupere y recupere nutrientes, evitando la degradación. La rotación de cultivos, por su parte, asegura una utilización más eficiente de los recursos del suelo al variar los tipos de cultivos, lo que contribuye a su conservación a largo plazo.
- **Incorporación de abonos verdes:** Los abonos verdes, como parte del ciclo natural, son una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos. Estos abonos, al ser integrados al suelo, mejoran su calidad y fertilidad, reduciendo así la dependencia de productos químicos sintéticos y promoviendo un sistema agrícola más equilibrado.
- **Recuperación de la cobertura vegetal:** Restaurar la cubierta vegetal es esencial para prevenir la erosión y proteger el suelo. Esto se puede lograr mediante prácticas como la reforestación con especies nativas, el establecimiento de pastos tradicionales y otras medidas que fomenten el crecimiento de vegetación protectora en áreas vulnerables.
- **Corte de la quinua y deshierbe manual:** Al cosechar la quinua, se recomienda realizar el corte de las plantas en lugar de arrancárselas manualmente.

Este método preserva las raíces en el suelo, evitando la fragmentación del terreno y permitiendo que los restos de las plantas se conviertan en nutrientes para el próximo ciclo de cultivo. Asimismo, el deshierbe manual contribuye a mantener una capa orgánica en el suelo, enriqueciéndolo y protegiéndolo contra la erosión.

2.8.2. Prácticas agronómicas para la conservación del suelo:

- **Incorporación de abonos orgánicos:** El uso de abonos orgánicos, como el té de estiércol, el humus de lombriz, el compost, entre otros, es una forma efectiva de mejorar la fertilidad del suelo sin recurrir a productos químicos nocivos. Estos abonos aportan nutrientes esenciales y mejoran la estructura del suelo, promoviendo un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas.
- **Uso de repelentes foliares orgánicos:** En lugar de utilizar pesticidas químicos, se recomienda el empleo de repelentes foliares orgánicos o feromonas para controlar las plagas. Estas alternativas naturales son menos perjudiciales para el suelo y el medio ambiente en general, preservando así la salud del ecosistema agrícola.

3. Requerimientos climáticos del cultivo de la quinua

3.1. Altitud

La quinua es un cultivo andino que se adapta mejor a altitudes elevadas. La altitud óptima de siembra está entre 3,000 y 4,000 metros sobre el nivel del mar.

A altitudes más bajas, la quinua puede ser susceptible a enfermedades y plagas, mientras que a altitudes más altas pueden experimentar un crecimiento más lento debido a las condiciones climáticas extremas.

ALTITUD ÓPTIMA
3.000 y 4.000 metros sobre el nivel del mar

3.2. Temperatura

La quinua es adaptable a una amplia gama de temperaturas, pero crece mejor en un rango térmico de 15 a 25 °C. Las temperaturas extremas pueden afectar negativamente el crecimiento y la producción de quinua. Se debe evitar el estrés térmico mediante la selección adecuada de fechas de siembra y variedades resistentes al calor o al frío, según corresponda.

La quinua, por su alta variabilidad genética, se adapta a diferentes climas de rango térmico de crecimiento de 2 a 20 y rango térmico óptimo de 2 a 25 °C.

TEMPERATURA ÓPTIMA
Rango de 15 a 25 °C

Tabla 3. Rango de temperaturas en las fases fenológicas del cultivo de la quinua

Estado de Desarrollo	Mínimas	Óptimas	Máximas
Germinación	5 °C	18 °C	35 °C
Desarrollo vegetativo	5 °C	18 °C	29 °C
Crecimiento Radicular		15 °C	
Floración	5 °C	13 °C a 21 °C	29 °C

Fuente: Michel (2011) Agro climatología de Bolivia.

Las temperaturas óptimas para el crecimiento y desarrollo de la quinua varían entre 15 °C y 25 °C¹, dependiendo de las variedades. La quinua puede tolerar heladas de hasta -8 °C y temperaturas altas durante sus fases de desarrollo vegetativo. Esta resistencia se debe a la estructura de sus hojas lanceoladas, dispuestas alternadamente a lo largo del tallo, con una epidermis superior e inferior, tejido mesófilo y vasos conductores.

Para una germinación adecuada, la temperatura mínima es de 5 °C. Temperaturas superiores a 15 °C pueden causar pérdidas por respiración y aumentar el riesgo de ataques de insectos (en condiciones secas) u hongos (en condiciones húmedas). Prolongados periodos de altas temperaturas diurnas pueden adelantar la formación y maduración de la panoja, resultando en bajos rendimientos (León, 2003).

La temperatura promedio ideal para el cultivo de la quinua es de 15 a 20 °C, aunque se ha observado un buen desarrollo a temperaturas promedio de 10 °C. Temperaturas superiores a 38 °C pueden causar aborto de flores y muerte de estigmas y estambres (Junta Acuerdo Cartagena, 1990).

La quinua es una planta C4, lo que significa que utiliza un mecanismo especializado de fotosíntesis para maximizar la captación de dióxido de carbono, permitiéndole adaptarse a condiciones de alta radiación solar y temperaturas elevadas. Sus hojas tienen adaptaciones para reducir la pérdida de agua, como estomas en la epidermis inferior que se cierran durante períodos de estrés hídrico y tricomas en la superficie que disminuyen la transpiración y protegen de la radiación solar intensa.

3.3. Precipitaciones

Las zonas de producción de quinua en Bolivia se dividen en tres eco-regiones principales: Altiplano Norte, Centro y Sur. Estas regiones se distinguen por su régimen de lluvia, la calidad de los suelos y los cultivos predominantes.

- **Altiplano Sur:** Es la zona más seca, con precipitaciones anuales entre 150 y 300 mm, suelos arenosos y de baja fertilidad. Aquí se cultiva principalmente la Quinua Real.

¹ Gomez P., Luz, Molina, Enrique (2016). Guía de cultivo de quinua. Lima-Perú. FAO

- **Altiplano Norte:** Recibe mayor precipitación, alrededor de 500 mm/año. Sus suelos son más productivos, permitiendo el cultivo de papa, quinua, cebada, haba y otros.
- **Altiplano Centro:** Tiene condiciones climáticas y de suelo intermedias entre el Altiplano Norte y Sur, abarcando partes de los departamentos de Oruro y Potosí².

La quinua se adapta bien a diferentes condiciones climáticas, incluida la variabilidad en las precipitaciones. Para un crecimiento óptimo, generalmente requiere entre 400 y 600 mm de precipitación anual. Sin embargo, puede prosperar con un mínimo de 200 a 250 mm en el Altiplano Sur de Bolivia, donde la precipitación óptima es de 300 a 500 mm, y la máxima alcanza entre 600 y 800 mm (Lucio Rene Tito, 2017)³.

PRECIPITACIÓN ÓPTIMA
Entre 400 y 600 mm

En Bolivia, el altiplano y los valles interandinos son las regiones más adecuadas para el cultivo de quinua debido a su clima semiárido. Estas áreas reciben una precipitación anual promedio de 400-600 mm, favorable para el crecimiento de la quinua. A pesar de su resistencia a la sequía, los agricultores a veces implementan técnicas de riego suplementario para asegurar un suministro adecuado de agua durante períodos de sequía prolongada.

3.4. Humedad Relativa

La humedad relativa es un factor importante en el cultivo de la quinua. En el altiplano, el cultivo se desarrolla favorablemente con una humedad relativa del 40%. Durante los meses de mayor desarrollo, como enero y febrero⁴, esta humedad relativa puede ser considerablemente alta. Por ejemplo, en la gestión agrícola 2011-2012 en la Comunidad de Saitoco en Salinas de Garci Mendoza, se registró una humedad relativa máxima del 86% en enero debido a las precipitaciones. En contraste, la humedad relativa mínima fue del 33% en abril, al final de la etapa seca⁵.

HUMEDAD ÓPTIMA
40%

La quinua puede crecer sin mayores inconvenientes en ambientes con una humedad relativa del 40% en el altiplano y hasta el 100% en la costa⁶. Durante la germinación y el establecimiento de plántulas, se recomienda mantener una humedad relativa alta, entre 70-80%, para favorecer la germinación y el enraizamiento adecuado. A medida que la

² (2014) Revista de Agricultura N° 54.

³ Tito, Lucio Rene (2017) Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de producción de quinua en Bolivia. La Paz. Bolivia.

⁴ Gómez, P., Luz, C., Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de quinua. Lima, Perú: FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, UNALM-Universidad Nacional Agraria La Molina.

⁵ 2011 a 2012 se realizó el estudio de la humedad relativa en la comunidad de Saitoco en Salinas de Garci Mendoza.

⁶ Mujica, A., Canahua, A., Saravia, R. (2004). Agronomía del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Unidad de Publicaciones U.N.A., Puno.

planta crece, es aconsejable reducir gradualmente la humedad relativa a 40-60% para prevenir enfermedades fúngicas y promover un crecimiento saludable.

3.5. Radiación Solar

La radiación solar juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de la quinua, especialmente en regiones como Oruro y Potosí en Bolivia. La quinua requiere una cantidad adecuada de luz solar para realizar la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas convierten la energía solar en energía química. En el altiplano andino, la radiación solar es generalmente alta, lo que proporciona la energía necesaria para un crecimiento eficiente de la quinua y la producción de compuestos beneficiosos como fitoquímicos y antioxidantes.

Sin embargo, una radiación solar excesiva, especialmente combinada con altas temperaturas y sequía, puede causar estrés por calor y deshidratación en la planta, afectando negativamente su crecimiento y rendimiento. Por lo tanto, es importante mantener un equilibrio adecuado entre la radiación solar y otros factores ambientales.

3.6. Luminosidad

La quinua es una planta que requiere una cantidad adecuada de luz solar para su desarrollo óptimo. Generalmente, necesita entre 8 y 14 horas de luz solar directa al día para crecer y desarrollarse adecuadamente. Esta exposición a la luz induce la floración y la maduración de los granos de manera saludable. No obstante, los requisitos de luminosidad pueden variar según la variedad de quinua y las condiciones ambientales específicas.

LUMINOSIDAD ÓPTIMA
Entre 8 y 14 horas de luz solar

Además de la duración de la luz, la calidad de la luz es importante para el crecimiento de la quinua. La planta responde mejor a la luz solar directa y a una amplia gama de longitudes de onda, especialmente la luz azul y roja.

Es fundamental proporcionar a la quinua un entorno con suficiente luz solar. Sin embargo, es importante considerar que condiciones extremas de luz, como una exposición excesiva al sol o la falta de luz, pueden afectar negativamente su crecimiento y producción.

La radiación solar es una fuente fundamental de energía para el cultivo de la quinua en Oruro y Potosí, Bolivia. Debido a su ubicación geográfica en el altiplano⁷ reciben una alta luminosidad que proporciona la energía necesaria para una fotosíntesis eficiente. Esto promueve un crecimiento saludable y un desarrollo adecuado de la quinua.

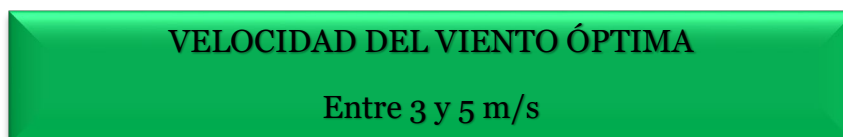
Además, la luminosidad influye en la formación de flores y la producción de semillas. Una adecuada exposición a la luz solar puede aumentar el potencial de rendimiento de la planta. Sin embargo, la quinua también requiere un equilibrio adecuado de otros factores ambientales, como la temperatura y la disponibilidad de agua, para su desarrollo

⁷ En el altiplano, la radiación solar es significativamente más intensa que en el trópico, proporcionando mayor energía a las plantas.

óptimo. Un manejo agronómico adecuado, incluyendo adaptaciones y prácticas de cultivo adecuadas, es fundamental para maximizar el potencial de crecimiento de la quinua en estas regiones.

3.7. Velocidad del viento

La velocidad del viento es un factor importante en el cultivo de la quinua, afectando la polinización, la dispersión de semillas, la temperatura y la humedad relativa en la zona de cultivo. La velocidad del viento óptima para el cultivo de la quinua se sitúa entre 3 y 5 m/s.



Un reciente estudio sobre el potencial eólico con fines de riego en cultivos de quinua, realizado en Salinas de García de Mendoza, registró una velocidad del viento de 3,9 m/s⁸. A continuación, se detallan las ventajas y desventajas de la velocidad del viento en el desarrollo de la quinua.

3.7.1. Ventajas:

- **Polinización:** El viento facilita la polinización cruzada en las plantas de quinua, lo que puede aumentar la diversidad genética y mejorar la calidad de las semillas.
- **Control de plagas y enfermedades:** El viento ayuda a dispersar insectos y reduce la propagación de plagas y enfermedades en los cultivos de quinua.
- **Ventilación:** Un flujo de aire adecuado puede reducir la humedad y prevenir enfermedades fúngicas en las plantas de quinua.

3.7.2. Desventajas:

- **Deshidratación:** El viento fuerte y constante puede aumentar la evaporación y la pérdida de agua en las plantas de quinua, lo que puede llevar a la deshidratación y al estrés hídrico.
- **Daño físico:** El viento intenso puede causar daños físicos en las plantas de quinua, como la rotura de tallos o el desprendimiento de hojas y flores.

El viento fuerte puede causar erosión del suelo, especialmente en áreas con poca cobertura vegetal, afectando negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas de quinua.

3.8. Temperatura del Suelo

La temperatura del suelo es importante para el desarrollo óptimo de la quinua. Aunque la quinua se adapta a una amplia gama de temperaturas, hay rangos específicos que favorecen su crecimiento.

⁸ Inda, R. (2010). Evaluación del comportamiento del nitrógeno en parcelas con cultivo de quinua bajo diferente manejo de suelos (Municipio de Salinas de Garci Mendoza). Oruro.

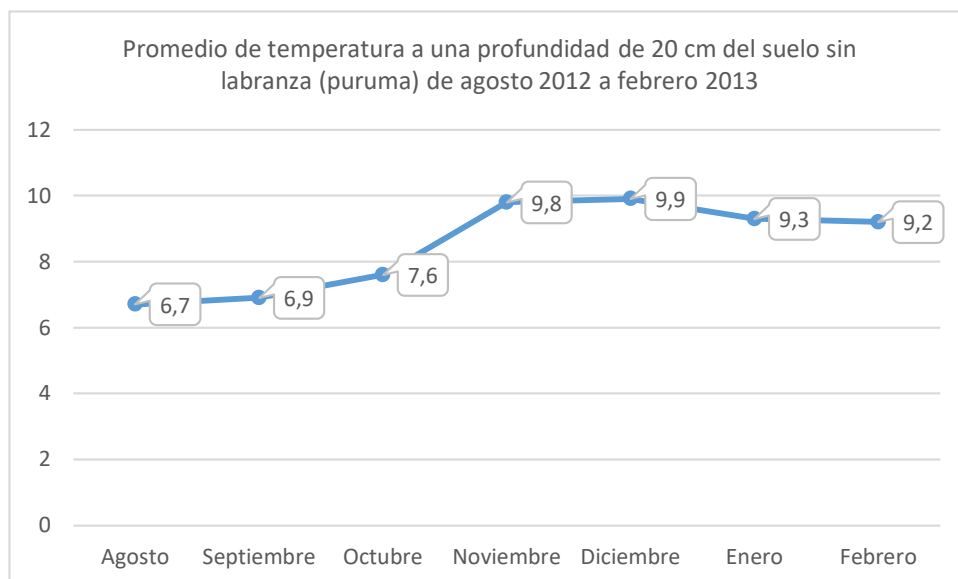
En el estudio de Víctor Pérez Paco (2015), se registraron las siguientes temperaturas promedio a 20 cm de profundidad⁹:

- Suelo sin labranza (puruma¹⁰): 8.5 °C
- Suelo con manejo tradicional: 8.4 °C
- Suelo mecanizado: 8.3 °C

Los suelos arenosos y franco arenosos de la zona tienen baja capacidad de retención de temperatura debido a su alta porosidad. Estos suelos absorben y emiten rápidamente la energía solar.

La temperatura del suelo es vital para la actividad de los microorganismos en la descomposición y transformación de materia orgánica. Temperaturas entre 0 y 5 °C restringen el crecimiento de las raíces y la germinación de semillas. Las temperaturas registradas a 20 cm de profundidad en el estudio (superiores a 8.3 °C) permiten la germinación y emergencia de la quinua incluso con poca humedad en agosto, cuando las temperaturas superficiales pueden llegar a -11 °C (FAO, 2009).

Gráfico 1 Temperatura a profundidad del suelo sin labranza



Fuente: Víctor Pérez Paco (2015)

Las temperaturas a 20 cm de profundidad en estos suelos son bajas, debido a que los suelos de la zona son arenosos y franco arenosos. Estos suelos tienen poca capacidad de retención térmica debido a su porosidad, lo que permite una rápida absorción y emisión de energía solar.

La temperatura del suelo es importante para la actividad de los microorganismos en la descomposición y transformación de materia orgánica. Temperaturas entre 0 y 5 °C en el suelo representan una restricción térmica para el crecimiento de las raíces de la mayoría de las especies, y hacen imposible la germinación de la mayoría de las semillas. Las temperaturas a 20 cm de profundidad en diferentes suelos son superiores a 8.3 °C,

⁹ Población fúngica en suelos productores de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes sistemas de manejo en la comunidad Kerecaya Municipio de Salinas de Garci Mendoza).

¹⁰ Puruma, son suelos fértiles en descanso también llamados canapas.

lo que permite la germinación y emergencia de la quinua sembrada, incluso con la poca humedad disponible en el suelo en agosto, cuando las temperaturas superficiales del suelo pueden llegar a -11 °C (FAO, 2009).

Se presentan los promedios de temperatura a una profundidad de 20 cm en suelo sin labranza (puruma). En agosto, la temperatura más baja registrada es 6.7 °C, y en diciembre es 9.9 °C. En enero y febrero, las temperaturas son de 9.3 °C y 9.2 °C, respectivamente.

En el suelo tradicional, los promedios de temperatura a 20 cm de profundidad muestran que en agosto la temperatura es 6.6 °C y en diciembre es 9.8 °C. Durante el día, las radiaciones solares son intensas, pero en los meses de enero y febrero, las temperaturas alcanzan 9.2 °C y 9.1 °C debido a las precipitaciones que reducen la radiación solar.

Es importante tener en cuenta que la quinua puede tolerar temperaturas más bajas durante la germinación y el establecimiento inicial, aunque temperaturas excesivamente bajas pueden retrasar su crecimiento. Por otro lado, temperaturas del suelo superiores a 30 °C pueden afectar negativamente el desarrollo de la planta y reducir su producción.

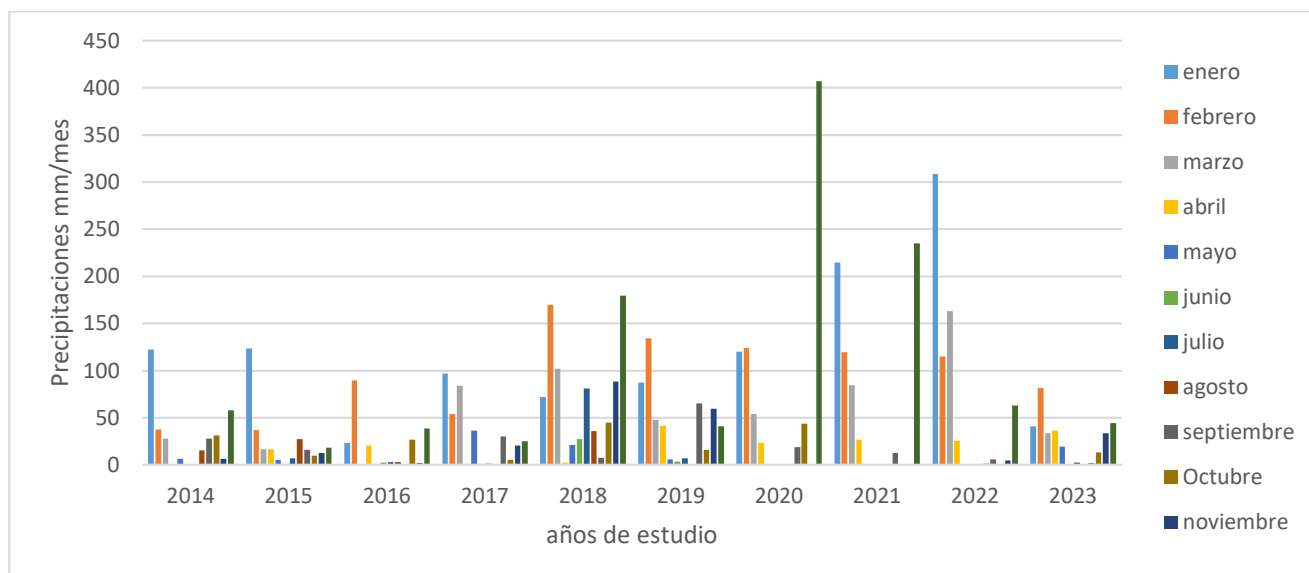
4. Recopilación y análisis de datos climáticos para el cultivo de Quinua

Recopilación y análisis comparativo de datos agroclimáticos obtenidos de la estación meteorológica de Oruro (La Cabaña) y la estación meteorológica de Uyuni.

4.1 Estaciones Meteorológicas Activas:

- Las estaciones meteorológicas activas permiten monitorear en tiempo real las condiciones climáticas, lo que facilita ajustar las prácticas agrícolas de manera oportuna.
- Los datos recogidos por estas estaciones pueden ser utilizados para prever eventos climáticos extremos, ayudando a minimizar los riesgos para los cultivos.
- En este estudio se comparan los datos obtenidos de la estación meteorológica de Oruro (La Cabaña Departamental) con los de las estaciones del municipio de Salinas de Garci Mendoza (Ucumasi) y la estación meteorológica de Uyuni.
- Los datos analizados abarcan el período comprendido entre 2014 y 2023, representando un estudio de 10 años.

Grafica 1 precipitaciones estación meteorológica La Cabaña Oruro.

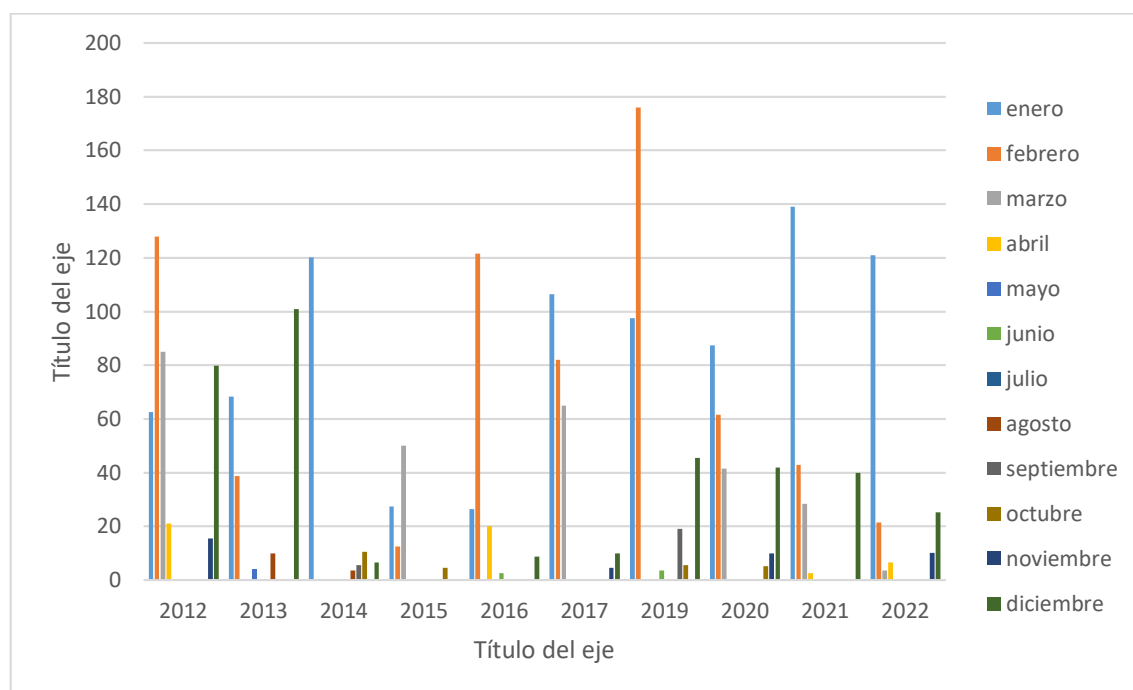


	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
enero	122,4	123,6	23,3	96,7	72,1	87,3	120,4	214,45	308,5	40,9
febrero	37,3	37	89,5	53,9	170	134,2	124,3	119,55	114,8	81,8
marzo	28,1	16,6	0	84,1	102,1	47,6	53,8	84,3	162,9	33,8
abril	1	16,5	20,7	0,3	2,5	41,4	23,2	26,65	25,5	36,6
mayo	6,3	5,6	0	36,6	21,2	6	1	0	0	19,5
junio	0	0	2,3	0	27,5	3,5	0	0	0	0
julio	0,2	6,8	3	1,5	81,4	7	0	0	0	2,3
agosto	15,6	27,4	3	0	36	0	0	0	1,3	0
septiembre	27,7	16,1	0	30,1	7,8	65,3	19	12,4	5,8	1,7
Octubre	31,3	9,6	26,7	5,6	44,9	15,8	44	0	0	13
noviembre	6,6	12,7	2	20,6	88,7	59,8	0	0	4,8	33,6
diciembre	58	18,1	38,5	24,9	179,6	41	407,2	235,05	62,9	44,5

Fuente datos utilizados Senamhi estación meteorológica la cabaña Oruro ubicación -67.080221;-17.974695

Entre los años 2014 y 2023, se observó un aumento gradual en las precipitaciones a partir de octubre, extendiéndose hacia los meses siguientes. Los periodos con mayor acumulación de lluvia ocurrieron en diciembre, febrero y parte de marzo, registrando las precipitaciones más significativas. Destacan las precipitaciones en diciembre de 2020, con 407.2 mm/mes, y en enero de 2021 con 214.45 mm/mes. En diciembre de ese mismo año, se registraron 235 mm/mes, mientras que enero de 2022 presentó una de las mayores precipitaciones de inicios de año, con 308.5 mm/mes. Las áreas cercanas a estas estaciones también cumplen con los requisitos agronómicos para asegurar un buen rendimiento en la producción de quinua, favoreciendo el aumento en la producción agrícola.

Grafica 2 precipitaciones estación meteorológica Ucumasi Salar de Uyuni

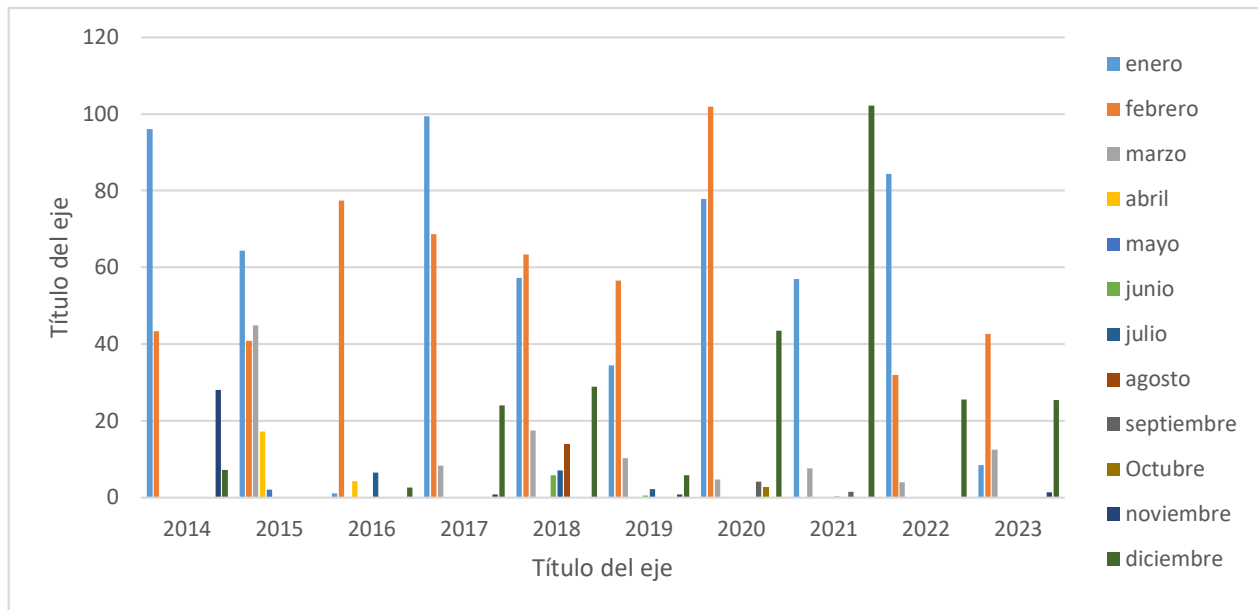


	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2019	2020	2021	2022
enero	62,6	68,3	120,2	27,5	26,5	106,5	97,5	87,5	139	121
febrero	128	38,8	0	12,6	121,5	82	176	61,5	43	21,5
marzo	85	0	0	50	0	65	0	41,5	28,5	3,5
abril	21	0	0	0	20	0	0	0	2,5	6,5
mayo	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
junio	0	0,5	0	0	2,5	0	3,5	0	0	0
julio	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
agosto	0	10	3,5	0	0	0	0	0	0	0
septiembre	0	0	5,5	0	0	0	19	0	0	0
octubre	0	0	10,5	4,5	0	0	5,5	5,2	0	0
noviembre	15,5	0	0	0	0	4,5	0	10	0	10,2
diciembre	79,8	101	6,5	0	8,7	10	45,5	42	40	25,2

Fuente datos utilizados Senamhi estación meteorológica municipal salinas de Garci Mendoza (Ucumasi) ubicación -67.424722;-17.130278

Se recopilieron los siguientes datos de la estación meteorológica de Salinas de Garci Mendoza (Ucumasi), aunque no se dispone de información para el año 2018 debido al mantenimiento de la estación. Las precipitaciones comenzaron mayormente en octubre, con algunas excepciones en años con menor lluvia en noviembre. A partir de diciembre, las precipitaciones se incrementaron gradualmente a lo largo de los años. El mayor registro de lluvia se observó en diciembre de 2013, con 101 mm/mes. Sin embargo, en 2019, la mayor precipitación ocurrió en febrero, alcanzando 179 mm/mes, lo que también favoreció los requerimientos agronómicos. Estos datos agroclimáticos permiten predecir los patrones de lluvia y calcular las fechas óptimas para la siembra, mejorando la planificación agrícola.

Grafica 3 precipitaciones estación meteorológica Uyuni



	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
enero	96,1	64,3	1	99,4	57,2	34,4	77,8	56,9	84,3	8,4
febrero	43,4	40,9	77,4	68,7	63,3	56,5	101,9	0,1	32	42,6
marzo	0	44,9	0	8,3	17,5	10,3	4,7	7,6	4	12,4
abril	0	17,2	4,3	0	0	0	0,1	0	0	0
mayo	0	2	0	0	0	0	0	0,1	0	0
junio	0	0	0	0	5,8	0,5	0	0	0	0
julio	0	0	6,5	0	7	2,2	0	0,2	0	0
agosto	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0
septiembre	0	0	0	0	0	0,1	4,1	1,5	0	0
Octubre	0	0	0	0	0	0	2,6	0	0	0
noviembre	28,1	0	0	0,8	0	0,8	0	0,1	0,1	1,4
diciembre	7,2	0	2,6	24	28,9	5,8	43,5	102,2	25,5	25,4

Fuente datos utilizados Senamhi estación meteorológica municipal Uyuni ubicación-66.83128;-20.471783

En la estación meteorológica del municipio de Uyuni, se recopilieron los siguientes datos. Se observó que las lluvias comenzaron generalmente en diciembre en la mayoría de los años estudiados. El registro de mayor precipitación ocurrió en diciembre de 2021, con 102.2 mm/mes. Otros picos importantes de lluvia se dieron en enero, como en 2014 con 96.1 mm/mes, en 2017 con 99.4 mm/mes, y en 2022 con 84.3 mm/mes. En febrero de 2020 también se registró una precipitación significativa de 101.9 mm/mes. Sin embargo, en varios de los años analizados, las precipitaciones fueron bajas, lo que podría afectar los requerimientos agronómicos de los cultivos de quinua, limitando su productividad.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que, para lograr un mayor rendimiento en el cultivo de quinua, es fundamental seguir una serie de pasos recomendados. El primer paso es realizar un análisis exhaustivo del suelo, lo cual permitirá determinar su estado actual y los requerimientos específicos. A partir de este análisis, se podrán identificar las deficiencias de minerales o nutrientes y aplicar los correctivos necesarios, siendo también importante

la incorporación de materia orgánica. Además, la consideración de los datos agroclimáticos es vital para ajustar las prácticas agrícolas.

Durante la búsqueda de antecedentes para generar datos agroclimáticos, se llevó a cabo un análisis detallado que priorizó la obtención de información confiable. Aunque las estaciones meteorológicas de Oruro y Salinas de Garci Mendoza (Ucumasi) estuvieron inactivas en ciertos periodos, se logró obtener datos relevantes de la estación de Uyuni. La falta de registros para el año 2018, debido al mantenimiento de la estación de Salinas de Garci Mendoza, representó un desafío, ya que sus datos son importantes por la proximidad a la zona de estudio.

En el altiplano sur, una región caracterizada por su baja cobertura vegetal y frecuente erosión de suelos, se recomienda implementar prácticas agrícolas como la instalación de barreras vivas de *thola* para mitigar la erosión. Además, se sugiere promover la producción de *thola* mediante viveros forestales y fomentar su comercialización para apoyar la reforestación. También se destaca el uso de estiércol como principal fuente de materia orgánica, así como la integración de leguminosas silvestres, como *Lupinus spp.*, en los sistemas de producción de quinua, dada su adaptación al altiplano y su ciclo biológico beneficioso.

Finalmente, la adquisición de nuevas estaciones meteorológicas será de gran utilidad para la comunidad, ya que brindarán datos precisos que permitirán realizar ajustes oportunos y emitir pronósticos climáticos que mejoren la producción de quinua. El análisis de las temperaturas y precipitaciones registradas a lo largo de los años aportará información clave para que agricultores e investigadores puedan tomar decisiones informadas, contribuyendo a la sostenibilidad de este cultivo esencial en la región del altiplano boliviano.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Calla, C. J. (2012). *Manejo agronómico del cultivo de la quinua - Guía técnica de exposición*. Lima, Perú: UNALM-Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Colque, Ana, Krusich, Carlos y Minucci, Guido (2012). *Manual práctico de gestión de suelos en el altiplano sur de Potosí*.
- Colque, O., Muriel, B. (2023). *Estudios de la fertilidad de suelos en parcelas de producción de quinua en comunidades de la región del altiplano sur de Bolivia*. La Paz-Bolivia. INESAD
- Conde Viscarra, E. (2016). *Efecto del cambio climático en la sostenibilidad productiva de la quinua en el municipio de Patacamaya en La Paz* (Tesis de Ingeniería Agrónoma). La Paz, Bolivia: UMSA.
- Gómez, P., Luz, C., Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de quinua*. Lima, Perú: FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, UNALM-Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Inda, R. (2010). *Evaluación del comportamiento del nitrógeno en parcelas con cultivo de quinua bajo diferente manejo de suelos (Municipio de Salinas de Garci Mendoza)*. Oruro.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1990). *Foro Internacional para el Fomento de Cultivos y Crianzas Andinos: Situación, perspectivas y bases para un programa de promoción de Cultivos y crianzas Andinos*. Cusco, Perú, 12-15 de noviembre.
- La rieue, L., Clausi, M., y Bongiorno, F. (2016). *Conductividad Eléctrica y extracto modificando tiempos de reposo en suelos de regiones húmedas 1(2-7)*.
- León, J. M. (2003). *Cultivo de quinua en Puno – Perú: Descripción, manejo y producción*. Puno, Perú: UNA-PUNO. Documento digital. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cultivo-quinua-puno-peru/cultivoquinua-puno-peru.pdf>
- Martínez, S. (2012). *Guía práctica para el cultivo de la quinua*. Esperanza, Bolivia.
- Michel, T. (2011). *Agroclimatología de Bolivia, su relación con los principales cultivos de la canasta familiar*.
- Mujica, A., Canahua, A., Saravia, R. (2004). *Agronomía del cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. Unidad de Publicaciones U.N.A., Puno.
- Quino Eliseo 2018, Fertilidad del suelo, Abonos, Enmiendas y Fertilizantes (1er edición), Universidad técnica de Oruro, Oruro-Bolivia.
- Sánchez Acarapi, V. (2011). *Influencia de la plasticidad de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) sobre su constante térmica en el altiplano boliviano* (Tesis de Ingeniería Agrónoma). La Paz, Bolivia: UMSA.

- SENAMHI. (2017). *Ficha técnica agroclimatológica (Chenopodium quinoa Willd)*. Ministerio de Medio Ambiente, Perú.
- Tito, L. R. V. (2017). *Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de producción de quinua (Chenopodium quinoa) en Bolivia*. La Paz, Bolivia.
- Zurita-Silva, A. (2011). *Sequía, frío y salinidad: respuesta de la quínoa al desafío ambiental*. Ingeniero Agrónomo Mg. Sc. Dr., Investigador INIA Intihuasi.

7. ANEXOS

Glosario Agronómico

Abonos verdes: Son cultivos específicos que se siembran con el propósito de ser incorporados al suelo mientras aún están verdes. Estos cultivos se plantan en terrenos no ocupados entre los cultivos principales, actuando como cobertura vegetal que mejora la estructura del suelo y su fertilidad.

Agronomía: Es la ciencia y tecnología que estudia y aplica las prácticas agrícolas para optimizar la producción de alimentos. Se basa en conocimientos científicos que abarcan desde el cultivo de la tierra hasta el manejo de recursos naturales.

Altiplano: Es una extensa región de tierras altas situada entre la cordillera de los Andes y el Altiplano Andino. Con una altitud promedio de 3,700 metros sobre el nivel del mar, destaca por sus impresionantes paisajes, su biodiversidad y la riqueza cultural de sus habitantes.

Cambio climático: Se refiere a las variaciones a largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden deberse tanto a factores naturales, como la actividad solar o grandes erupciones volcánicas, como a actividades humanas.

Clima: Es el estado promedio de la atmósfera en un lugar determinado, incluyendo sus variaciones y extremos, analizados durante un periodo prolongado de tiempo.

Clorofila: Es un pigmento verde presente en todas las plantas terrestres, marinas y en algunas bacterias, esencial para la fotosíntesis, donde transforma la energía lumínica en energía química.

Degradación del suelo: Hace referencia a los procesos que reducen la capacidad del suelo para mantener sus funciones ecológicas. Esta degradación puede ser causada tanto por factores naturales como por actividades humanas, afectando su productividad y sostenibilidad futuras.

Deshidratación en plantas: Es un proceso en el que se elimina la humedad de las plantas para prolongar su vida útil y conservar sus propiedades. Este método se aplica a diversas especies vegetales como hierbas aromáticas, flores y frutos, permitiendo su almacenamiento por más tiempo sin perder su calidad.

Energía solar: Es la energía obtenida a partir de la radiación electromagnética del sol (luz, calor y rayos ultravioleta). Al ser una fuente natural inagotable, se considera una energía renovable que puede ser aprovechada para generar electricidad y calor de forma sostenible.

Erosión: Es el desgaste progresivo de la superficie de la tierra causado por la acción del viento, el agua o la fricción de otros elementos. Este fenómeno contribuye a la degradación del suelo y puede afectar su capacidad para soportar vida vegetal.

Estación meteorológica: Es un conjunto de instrumentos utilizados para recopilar datos sobre el clima, como temperatura, humedad, presión atmosférica y velocidad del viento. Esta información es importante para la previsión meteorológica y el estudio de los patrones del cambio climático.

Estrés en las plantas: Es la condición en la que las plantas no pueden realizar sus funciones fisiológicas de manera adecuada, lo que detiene su crecimiento y desarrollo. El estrés puede ser causado por factores bióticos (plagas y enfermedades) o abióticos (condiciones ambientales desfavorables como sequía, temperaturas extremas o deficiencia de nutrientes).

Factores climáticos: Son las condiciones físicas que influyen en el clima de una región, como la altitud, latitud, topografía, distribución de masas de tierra y océanos, y corrientes oceánicas. Estos factores controlan y modifican los patrones climáticos en distintas áreas.

Fertilidad del suelo: Es la capacidad del terreno para sostener el crecimiento de las plantas y maximizar el rendimiento de los cultivos. Esta fertilidad puede mejorarse mediante el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos que proporcionen los nutrientes esenciales al suelo.

Grados bajo cero: Se refiere a las temperaturas negativas en la escala Celsius, donde el punto de congelación del agua es 0 °C.

Granizo blando: Precipitación en forma de grumos, bolas o trozos irregulares de hielo, originados cuando gotas de agua líquida se congelan y son recubiertas por capas de hielo sucesivas mientras ascienden y se enfrían en las fuertes corrientes ascendentes de las tormentas.

Helada blanca: Este tipo de helada ocurre cuando la temperatura del aire cerca del follaje y las flores desciende a 0 °C o menos. El aire alcanza el punto de rocío, lo que provoca la condensación y la formación de una capa de hielo blanco sobre las superficies de las plantas, visible en mañanas frías y despejadas sin viento.

Helada negra: Se presenta cuando el aire tiene poca humedad y el punto de rocío es inferior a 0 °C. Esto impide la formación de hielo visible en las plantas, pero aun así daña los cultivos. Al día siguiente, las plantas afectadas muestran un color negruzco debido a la congelación de la savia o del agua en sus tejidos.

Heladas: Son descensos de la temperatura del aire a valores iguales o inferiores al punto de congelación del agua (0 °C), según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1992). Una forma común de helada es la formación de una capa de hielo debido a la sublimación del vapor de agua sobre objetos expuestos.

Hidrología: Es la ciencia que estudia el agua en todas sus formas y fases, abarcando su distribución, circulación y las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua en la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo.

Humedad relativa: Es una medida que indica la cantidad de humedad en el aire en relación con la cantidad máxima que puede contener a una temperatura específica.

Llovizna: Precipitación ligera y uniforme, compuesta de pequeñas gotas de agua que caen de las nubes de manera continua.

Lluvia: Precipitación de agua líquida en forma de gotas que caen con velocidad apreciable y de manera sostenida.

Materia orgánica: Es el conjunto de compuestos orgánicos derivados de restos de organismos vivos, como plantas y animales, y sus desechos. Está compuesta de materia inerte y energía y desempeña un papel importante en la fertilidad del suelo.

Nieve: Agua congelada que cae de las nubes en forma de pequeños cristales que, al agruparse, forman copos blancos que llegan al suelo.

Planta C4: Son plantas cuyo proceso de fotosíntesis es más eficiente en condiciones de calor y sequía, ya que sus estomas se abren durante la noche, reduciendo la pérdida de agua.

Precipitaciones: Este término se refiere a cualquier forma en que el agua cae desde la atmósfera a la superficie terrestre, como lluvia, llovizna, nieve o granizo.

Producción: Es el proceso mediante el cual se crean, cultivan, fabrican o mejoran bienes y servicios. También puede hacer referencia a la cantidad generada durante dicho proceso.

Pronóstico: Los pronósticos describen las condiciones climáticas más relevantes esperadas para el día actual y los próximos. El contenido exacto depende del público objetivo, como el caso de pronósticos generales o marinos.

Reforestación: Consiste en plantar árboles, ya sea mediante el trasplante de plántulas o, en ciertas especies, mediante injertos, con el objetivo de establecer un bosque o una cubierta forestal.

Rendimiento: Hace referencia a la productividad o utilidad que genera una persona, actividad o bien. Se relaciona con conceptos como rentabilidad, provecho, productividad y utilidad.

Senamhi: El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia es un organismo público adscrito al Ministerio de Medio Ambiente, encargado de talleres sobre interpretación de boletines meteorológicos, alertas, aforos y mantenimiento de estaciones automáticas.

Sequía: Se refiere a periodos prolongados de escasez de lluvias que generan una disminución significativa de agua, lo que puede ocasionar problemas de abastecimiento y de salud pública.

Suelo agrícola: Es aquel con una estructura adecuada y baja compactación, lo que permite un equilibrio en su funcionamiento, favoreciendo el cultivo.

Suelos áridos: Contienen un alto nivel de sales solubles y son alcalinos debido a la falta de lluvias que eliminen esas sales. Por naturaleza, estos suelos son muy infértiles.

Suelos semiáridos: Se caracterizan por una baja disponibilidad de agua, medida en función de la precipitación media anual.

Temperatura: Es el fenómeno por el cual parte de las radiaciones solares no absorbidas por la atmósfera llegan a la superficie terrestre, donde se transforman en calor.

Temperatura máxima: Es la temperatura más alta registrada en un día, generalmente alcanzada hacia las 14:00 horas, debido a la acumulación de irradiación solar.

Temperatura mínima: Es la temperatura más baja del día, generalmente registrada poco después del amanecer, ya que durante la noche disminuye por la irradiación.

Tendencia climática: Se refiere a un cambio climático caracterizado por un ascenso o descenso gradual de los valores medios durante un periodo de registro, sin ser necesariamente lineal.

Textura del suelo: Describe el tamaño relativo de las partículas que lo componen, siendo clasificadas como arena, limo o arcilla, en función de su tamaño.

Thola: Es un arbusto de entre 1 y 2 metros de altura, con muchas ramas y resina, que desprende un fuerte aroma similar al pino. También es usado como barrera natural contra la erosión del suelo.