

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)  
EN SUSTRATOS CON ENMIENDAS ORGÁNICAS PARA AUMENTAR LA  
CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN KIPHAKIPHANI VIACHA**

**ELIANA CHUQUIMIA CALLISAYA**

**La Paz - Bolivia**

**2022**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)  
EN SUSTRATOS CON ENMIENDAS ORGÁNICAS PARA AUMENTAR LA  
CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN KIPHAKIPHANI VIACHA**

*Tesis de Grado presentado como requisito  
parcial para optar el título de  
Ingeniero Agrónomo*

**ELIANA CHUQUIMIA CALLISAYA**

**Asesores:**

Ing. Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores .....

**Revisores:**

Ing. Ph. D. René Chipana Rivera .....

Ing. M. Sc. Fanny Bertha Arragan Tancara .....

Ing. M. Sc. Genaro Serrano Coronel .....

**Aprobado**

**Presidente Tribunal Examinador:** .....

**La Paz – Bolivia**

**2022**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, quien ha sido mi guía y me dio la fuerza para continuar en este proceso.

A mis queridos padres Justo Chuquimia y Julia Callisaya que me dieron su amor, apoyo, comprensión y confianza, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanas Darlyn Chuquimia y Lisbeth Chuquimia por su apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por guiarme en este proceso, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis queridos padres Justo Chuquimia y Julia Callisaya y hermanas Darlyn M. Chuquimia y Lisbeth Chuquimia, que me dieron su amor, apoyo, comprensión y confianza brindada en toda mi etapa universitaria y en el desarrollo de la investigación.

A las personas e instituciones que se involucraron en este logro. A la Fundación PROINPA Regional Altiplano (K'ipha K'iphani - Viacha), por acogerme y brindarme las instalaciones para la investigación. A si como también a las autoridades y docentes de la Facultad de Agronomía UMSA por la información profesional.

A mi Asesor: Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores, por haberme brindado sugerencias y el tiempo dedicado para llevar adelante y mejorar el presente trabajo de investigación.

A mis revisores: Ph. D. Rene Chipana Rivera, M. Sc. Fanny B. Arragan Tancara y M. Sc. Genaro Serrano Coronel, por las correcciones y por sus valiosos aportes que contribuyeron para la presentación final del documento.

Al Centro Experimental de K'ipha K'iphani – PROINPA por la confianza y paciencia, durante el desarrollo del trabajo de investigación, a las Ing. Miriam Alcon y Betshabe Apaza por el apoyo técnico que me dieron durante mi estancia y a todos mis compañeros del lugar.

A mis amigas (os) con quienes compartí en mi formación profesional a: Cinthia Mónica Medrano, Ximena Mónica Onofre, Miguel Ángel Peñafiel, Pablo Daniel Quino, dando paso a una bonita amistad y un apoyo mutuo entre nosotros.

Muchas gracias

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT .....	11
1. INTRODUCCIÓN .....	12
2. OBJETIVOS .....	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos específicos .....	13
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1. Características del cultivo de quinua.....	14
3.1.1. Origen del cultivo de quinua.....	14
3.1.2. Distribución geográfica de la quinua .....	14
3.1.3. Descripción taxonómica del cultivo de quinua .....	16
3.1.4. Descripción botánica y morfológica del cultivo de quinua .....	16
3.1.4.1. Planta .....	17
3.1.4.2. Raíz .....	17
3.1.4.3. Tallo.....	18
3.1.4.4. Hojas .....	18
3.1.4.5. Inflorescencia .....	19
3.1.4.6. Flores .....	19
3.1.4.7. Fruto .....	20
3.1.4.8. Semilla.....	20
3.1.5. Fenología del cultivo.....	20
3.1.5.1. Fases fenológicas de la quinua .....	21
3.1.6. Importancia del cultivo de quinua.....	26
3.1.7. Producción de quinua.....	27
3.1.7.1. Producción a nivel mundial .....	27
3.1.7.2. Producción en Bolivia.....	28
3.2. Retención de humedad del suelo .....	29

3.3. Propiedades del suelo que afectan el contenido de humedad y la curva de retención de humedad del suelo (CRHS) .....	29
3.3.1. Textura.....	30
3.3.2. Contenido de materia orgánica .....	30
3.3.3. Densidad aparente .....	31
3.3.4. Estructura del suelo.....	31
3.3.5. Capacidad de cambio de bases .....	32
3.4. Medición de humedad del suelo.....	32
3.4.1. HSM50 (medidor de humedad volumétrica) .....	33
3.5. Importancia del agua en el suelo.....	33
3.6. Importancia de la materia orgánica en el suelo.....	34
3.7. Enmiendas orgánicas para el suelo .....	35
3.7.1. Ceniza volcánica .....	36
3.7.2. Biochar.....	38
3.7.3. Compost .....	39
3.7.4. Zeolita .....	40
4. LOCALIZACIÓN .....	43
4.1. Ubicación geográfica .....	43
4.2. Características climáticas .....	43
4.2.1. Clima.....	43
4.2.2. Temperatura .....	43
4.2.3. Precipitación pluvial.....	43
4.2.4. Condiciones climáticas del invernadero .....	44
4.3. Suelo .....	44
4.4. Vegetación .....	45
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
5.1. Materiales.....	46
5.1.1. Material vegetal .....	46
5.1.2. Enmiendas orgánicas.....	47
5.1.3. Materiales y herramientas de campo y laboratorio .....	47
5.1.4. Material de gabinete .....	47
5.2. Metodología .....	48
5.2.1. Metodología de campo.....	48

5.2.1.1.	Preparación del sustrato con las enmiendas orgánicas .....	48
5.2.1.2.	Disposición de las unidades experimentales en el invernadero.....	48
5.2.1.3.	Siembra .....	49
5.2.1.4.	Identificación de las muestras (plantas) .....	49
5.2.1.5.	Labores culturales.....	49
5.2.1.5.1.	Riego.....	49
5.2.1.5.2.	Raleo.....	49
5.2.1.5.3.	Deshierbe.....	49
5.2.1.5.4.	Aporque .....	49
5.2.1.6.	Cosecha de la quinua .....	50
5.2.1.7.	Secado, trillado y venteado de grano .....	50
5.2.2.	Metodología experimental .....	50
5.2.2.1.	Diseño experimental .....	50
5.2.2.2.	Modelo estadístico empleado en la investigación .....	51
5.2.2.3.	Croquis experimental .....	51
5.2.3.	Variables de respuesta.....	52
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	56
6.1.	Propiedades físicas y químicas del suelo.....	56
6.1.1.	Gráficos comparativos del análisis físico químico de suelos .....	57
6.1.1.1.	Textura .....	57
6.1.1.2.	pH.....	58
6.1.1.3.	Conductividad Eléctrica (CE) .....	59
6.2.1.4.	Acidez intercambiable.....	60
6.2.1.5.	Calcio intercambiable.....	61
6.2.1.6.	Magnesio intercambiable .....	62
6.1.1.7.	Sodio intercambiable.....	62
6.1.1.8.	Potasio intercambiable.....	63
6.1.1.9.	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) .....	64
6.1.1.10.	Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI).....	65
6.2.	Humedad del Suelo .....	66
6.2.1.	Capacidad de retención de humedad volumétrica del suelo .....	66
6.2.1.1.	Humedad volumétrica retenida del suelo por tratamiento .....	66

6.2.1.1.1. Humedad volumétrica retenida del suelo To.....	66
6.2.1.1.2. Humedad volumétrica retenida del suelo T1.....	67
6.2.1.1.3. Humedad volumétrica retenida del suelo T2.....	68
6.2.1.1.4. Humedad volumétrica retenida del suelo T3.....	69
6.2.1.1.5. Humedad volumétrica retenida del suelo T4.....	70
6.2.1.2. Humedad volumétrica retenida del suelo por mes .....	70
6.2.1.2.1. Humedad volumétrica retenida en el suelo para Febrero (29-57 días después de la siembra).....	70
6.2.1.2.2. Humedad volumétrica retenida en el suelo para marzo.....	72
6.2.1.2.3. Humedad volumétrica retenida en el suelo para el mes de Abril (90-120 días después de la siembra) .....	73
6.2.2. Curvas de Retención de Humedad (CRH).....	76
6.2.2.1. Curva de Retención de Humedad (CRH) para To.....	76
6.2.2.2. Curva de Retención de Humedad (CRH) para T1.....	77
6.2.2.3. Curva de Retención de Humedad (CRH) para T2.....	78
6.2.2.4. Curva de Retención de Humedad (CRH) para T3.....	78
6.2.2.5. Curva de Retención de Humedad (CRH) para T4.....	79
6.3. Variables agromorfológicas .....	80
6.3.1. Altura de planta hasta la cosecha .....	80
6.3.2. Diámetro de tallo .....	82
6.3.3. Tamaño de panoja a la madurez.....	83
6.3.3.1. Diámetro de panoja.....	83
6.3.3.2. Longitud de panoja.....	85
6.3.4. Rendimiento de grano por planta .....	86
6.3.5. Índice de cosecha.....	87
6.3.6. Peso hectolítrico del grano limpio .....	88
6.3.7. Unidades Formadoras de Colonias De Hongos (UFC).....	89
7. CONCLUSIONES.....	90
8. RECOMENDACIONES .....	91
9. BIBLIOGRAFÍA .....	92
ANEXOS.....	99



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de la variedad Jacha Grano.....	46
Tabla 2. Resultado del análisis físico químico del suelo del To .....	56
Tabla 3. Resultado del análisis físico químico del suelo del T1 .....	56
Tabla 4. Resultado del análisis físico químico del suelo del T2 .....	56
Tabla 5. Resultado del análisis físico químico del suelo del T3 .....	57
Tabla 6. Resultado del análisis físico químico del suelo del T4 .....	57
Tabla 7. Análisis de varianza para humedad volumétrica retenida en el mes de Febrero .....	71
Tabla 8. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para humedad volumétrica retenida en Febrero.....	71
Tabla 9. Análisis de varianza para humedad volumétrica retenida en Marzo .....	72
Tabla 10. Prueba de Medias Duncan al 5 % de significancia para humedad volumétrica retenida en Marzo. ....	72
Tabla 11. Análisis de varianza para humedad volumétrica retenida en el suelo para el mes de Abril. ....	73
Tabla 12. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para humedad volumétrica retenida en el suelo en el mes de Abril.....	74
Tabla 13. Comparación de los valores de HV de las Curvas de Retención de Humedad .....	79
Tabla 14. Análisis de varianza para altura de planta.....	81
Tabla 15. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para altura de planta. .	81
Tabla 16. Análisis de varianza para diámetro de tallo. ....	82
Tabla 17. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para diámetro de tallo.	83
Tabla 18. Análisis de varianza para diámetro de panoja.....	83
Tabla 19. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para diámetro de panoja. ....	84
Tabla 20. Análisis de varianza para longitud de panoja. ....	85
Tabla 21. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para longitud de panoja. ....	85
Tabla 22. Análisis de varianza para Rendimiento de grano por planta. ....	86
Tabla 23. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para rendimiento de grano por planta. ....	86
Tabla 24. Análisis de varianza para Índice de cosecha.....	87
Tabla 25. Análisis de varianza para peso hectolítrico del grano limpio.....	88
Tabla 26. Datos del promedio y desviación estándar del conteo de las Unidades Formadoras de Colonias De Hongos (UFC) por tratamiento. ....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases fenológicas de la quinua. ....	22
Figura 2. Plantas de quinua en etapa de crecimiento .....	99
Figura 3. Plantas en etapa de ramificación.....	99
Figura 4. Disposición de las unidades experimentales.....	99
Figura 5. Plantas de quinua en estado de marchitez (se procedía con el riego después de observar este fenómeno) .....	100
Figura 6. Medición de la humedad volumétrica directa al suelo de la maceta antes del riego .....	100
Figura 7. HSM50 (medidor de humedad volumétrica).....	100
Figuras 8 y 9. Muestreo de los suelos por tratamiento para los diferentes análisis de laboratorio .....	101
Figura 10. Venteo y separación de impurezas del grano .....	101
Figura 11. Trilla del grano .....	101
Figura 12. Venteo del grano.....	102
Figura 13. Toma de datos de rendimiento de grano.....	102
Figuras 14 y 15. Toma de datos del peso hectolítrico .....	102
Figura 16. Muestreo de suelos en los cilindros (5x5) 3 muestras/tratamiento .....	103
Figura 17. Preparación de muestras de suelo .....	103
Figura 18. Proceso de capilaridad .....	103
Figura 19. Olla de Richards .....	103
Figura 20. Papa para el medio de cultivo para el conteo de UFC.....	104
Figura 21. Preparación del medio de cultivo.....	104
Figura 22. Muestras del suelo listas para introducir a las cajas de Petri.....	104
Figura 23. Cajas Petri con las colonias de los hongos para hacer el conteo de UFC .....	104
Figura 24. Resultado del Análisis de Humedad de los suelos (por tratamiento) proporcionado por LAFASA.....	105
Figura 25. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del To proporcionado por LAFASA.....	106
Figura 26. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del T1 proporcionado por LAFASA.....	107
Figura 27. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del T2 proporcionado por LAFASA.....	108
Figura 28. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del T3 proporcionado por LAFASA.....	109
Figura 29. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del T4 proporcionado por LAFASA.....	110

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Comportamiento de la temperatura durante la investigación en el invernadero .....	44
Gráfico 2. Croquis Experimental .....	51
Gráfico 3. Proporciones de los componentes de la Textura del sustrato por tratamiento .....	58
Gráfico 4. pH del sustrato por tratamiento .....	58
Gráfico 5. Conductividad Eléctrica del sustrato por tratamiento .....	59
Gráfico 6. Acidez intercambiable del sustrato por tratamiento .....	60
Gráfico 7. Calcio intercambiable del sustrato por tratamiento .....	61
Gráfico 8. Magnesio intercambiable del sustrato por tratamiento .....	62
Gráfico 9. Sodio intercambiable del sustrato por tratamiento .....	62
Gráfico 10. Potasio intercambiable del sustrato por tratamiento .....	63
Gráfico 11. Capacidad de Intercambio Catiónico del sustrato por tratamiento .....	64
Gráfico 12. Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del sustrato por tratamiento ..	65
Gráfico 13. Humedad volumétrica retenida del suelo para el To .....	66
Gráfico 14. Humedad volumétrica retenida del suelo para el T1 .....	67
Gráfico 15. Humedad volumétrica retenida del Suelo para el T2 .....	68
Gráfico 16. Humedad volumétrica retenida del Suelo para el T3 .....	69
Gráfico 17. Humedad volumétrica retenida del suelo para el T4 .....	70
Gráfico 18. Humedad volumétrica retenida del suelo por mes y tratamiento .....	75
Gráfico 19. Curva de Retención de Humedad para To .....	76
Gráfico 20. Curva de Retención de Humedad para T1 .....	77
Gráfico 21. Curva de Retención de Humedad para T2 .....	78
Gráfico 22. Curva de Retención de Humedad para T3 .....	78
Gráfico 23. Curva de Retención de Humedad para T4 .....	79
Gráfico 24. Dinámica del crecimiento de la altura de planta del cultivo de quinua. ...	80
Gráfico 25. Conteo de las Unidades Formadoras de Colonias De Hongos (UFC) por tratamiento. ....	89

## RESUMEN

El desarrollo de la agricultura ha permitido mejorar el rendimiento y la producción de distintas plantas cultivadas; sin embargo, no se pueden cambiar las condiciones ambientales donde se desarrollan las plantas. Esta situación adversa de Los Andes ha condicionado el proceso de domesticación de la quinua y de otros cultivos que se caracterizan por su resistencia y su capacidad de adaptación, con tolerancia a sequía, heladas y salinidad del suelo.

En condiciones difíciles de clima y suelo, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se está produciendo como el cultivo más importante. El sur del altiplano boliviano es el área principal de producción de quinua en Bolivia. En la zona la precipitación anual es escasa (60 a 200 mm) concentrada en apenas dos meses al año, lo que determina una condición de sequía. Es por eso que se hace importante evaluar la adición de enmiendas a los sustratos que permiten mejorar la capacidad de retención de la humedad. El objetivo fue evaluar el crecimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en sustratos con enmiendas orgánicas para aumentar la capacidad de retención de humedad en condiciones de invernadero. Para la investigación se empleó quinua de la variedad Jacha grano evaluando cuatro enmiendas orgánicas y no sintéticas (ceniza volcánica, biochar, compost y zeolita) con una dosis de 4 % (p/p) empleando macetas en ambiente de invernadero. Las variables de respuesta fueron: capacidad de retención de humedad del suelo en el transcurso del tiempo, las curvas de retención de humedad, la altura de planta, el diámetro de tallo, el tamaño de panoja a la madurez, el rendimiento, el índice de cosecha, el peso hectolítrico del grano limpio y las unidades formadoras de colonias de hongos, mediante un Diseño de Bloques al Azar con cinco tratamientos (las cuatro enmiendas más un testigo). En cuanto a los resultados obtenidos, para capacidad de retención de humedad del suelo, se vio que el uso de distintas enmiendas orgánicas tuvo un efecto significativo sobre los valores de humedad volumétrica, siendo que el tratamiento con adición de biochar (T2) obtuvo el resultado de retención de humedad más baja y los demás tratamientos presentaron valores estadísticamente iguales, para las curvas de retención de humedad de todos los tratamientos presentaron características similares y corresponden a un suelo con textura gruesa. Para las variables altura de planta, diámetro de tallo, diámetro y longitud de panoja y rendimiento se vio un efecto por la aplicación de las enmiendas, el tratamiento que obtuvo el mejor resultado fue el compost (T3). Finalmente, en cuanto las variables de índice de cosecha, peso hectolítrico y conteo de UFC de Hongos no fueron influenciadas por la aplicación de las enmiendas. En conclusión, la enmienda que obtuvo los mejores resultados fue el compost (T3) y la que obtuvo el menor resultado de retención de humedad fue el Biochar (T2).

Palabras clave: Quinoa; *Chenopodium quinoa* Willd.; retención de humedad; enmiendas orgánicas; quinua en invernadero.

## ABSTRACT

The development of agriculture has made it possible to improve the yield and production of different cultivated plants; however, it is not possible to change the environmental conditions in which the plants develop. This adverse situation in Los Andes has conditioned the domestication process of quinoa and other crops that are characterized by their resistance and adaptability, with tolerance to drought, frost and soil salinity.

Under difficult climatic and soil conditions, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is being produced as the most important crop. The southern Bolivian altiplano is the main quinoa production area in Bolivia. The area is characterized by low rainfall, which leads to drought conditions. Therefore, it is important to evaluate the addition of organic amendments to substrates to improve soil permeability and moisture retention capacity. The objective was to evaluate the growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in substrates with organic amendments to increase moisture retention capacity. For the research, quinoa of the Jacha grano variety was used, evaluating 4 organic amendments (volcanic ash, biochar, compost and zeolite) at a dose of 4 % (w/w) using pots in a greenhouse. The response variables were soil moisture retention capacity over time, moisture retention curves, plant height, stem diameter, panicle size at maturity, yield, harvest index, hectoliter weight of clean grain and fungal colony forming units, using a Randomized Block Design with 5 treatments (the 4 amendments plus a control). The results obtained for soil moisture retention capacity showed that the use of different organic amendments had a significant effect on the volumetric moisture values, with the treatment with the addition of biochar (T2) obtaining the lowest moisture retention result and the other treatments presenting statistically equal values, For the moisture retention curves of all the treatments presented similar characteristics and correspond to a coarse textured soil. For the variables plant height, stem diameter, panicle diameter and length, and yield, there was an effect due to the application of the amendments, and in all of them the treatment that obtained the best results was compost (T3). Finally, the harvest index, hectoliter weight and fungal CFU count variables were not influenced by the application of the amendments. In conclusion, the amendment that obtained the best results was compost (T3) and the one with the lowest moisture retention was Biochar (T2).

Keywords: Quinoa; *Chenopodium quinoa* Willd.; moisture retention; organic amendments; greenhouse quinoa.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología para la agricultura ha permitido mejorar el rendimiento y la producción de distintas plantas cultivadas mediante la selección artificial que ha conducido a generar cambios para facilitar el manejo y aprovechamiento; sin embargo, no se puede cambiar las condiciones ambientales determinadas por un clima extremo dando lugar a sequías, heladas y otros factores adversos donde la quinua es uno de los cultivos que puede producir (Mujica & Jacobsen, 1999). Esta situación adversa de las condiciones ambientales en los Andes ha condicionado el proceso de domesticación de la quinua y de otros cultivos que se caracterizan por su resistencia y su excepcional capacidad de adaptación, con tolerancia a sequías, heladas, salinidad del suelo y otros factores bióticos y abióticos. El altiplano boliviano se va enfrentando a un cambio de disminución de las precipitaciones pluviales, lo cual incide en las reservas del agua y por lo tanto en los niveles de producción agrícola. La importancia de la quinua radica en su buen precio y su requerimiento internacional (Chura, 2009).

El sur del altiplano boliviano presenta condiciones ambientales difíciles, es el área principal de producción de quinua en el mundo, donde la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se está produciendo como el cultivo más importante para la economía local (Veizaga & Geerts, 2013).

Shaxson & Barber (2005) señalan que la productividad del suelo debería ser mejorada y mantenida constantemente, siendo fundamental tener suficiente agua en el suelo, puesto que, sin este elemento, el crecimiento de las plantas será limitado y la productividad de los suelos no será sostenible.

Las enmiendas y abonos orgánicos permiten mejorar la permeabilidad del suelo ya que influye en el drenaje y aireación de éste, aumenta la retención de agua en el suelo cuando llueve y contribuye a mejorar el uso de agua para riego por la mayor absorción del terreno (Mosquera, 2010 citado por Delgado-Londoño, 2017).

En el presente trabajo de investigación se evaluó el crecimiento de la quinua en sustratos con enmiendas orgánicas para aumentar la capacidad de retención de humedad en condiciones de invernadero con los siguientes objetivos:

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el crecimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones controladas en sustratos con enmiendas orgánicas para aumentar la capacidad de retención de humedad.

### **2.2. Objetivos específicos**

- ✚ Evaluar la retención de humedad del suelo con la aplicación de las enmiendas orgánicas.
  
- ✚ Evaluar el comportamiento agronómico de la quinua en sustratos con aplicación de las enmiendas orgánicas.
  
- ✚ Determinar el efecto de diferentes enmiendas en el rendimiento e índice de cosecha.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Características del cultivo de quinua**

##### **3.1.1. Origen del cultivo de quinua**

El origen de la especie *Chenopodium quinoa* Willd. está alrededor del lago Titicaca, donde se encuentra la mayor diversidad genética y distribución de especies, puesto que aparte de quinua se encuentran otras especies como *Ch. hircinum*, *Ch. petiolare* y *Ch. pallidicaule*, que son las especies más próximas a la quinua. Observándose que la quinua domesticada está siempre acompañada por poblaciones silvestres simpátricas en sus áreas de distribución (Mujica & Jacobsen, 1999).

“El origen y la diversidad genética de la quinua se encuentran en la región Andina y en particular en el altiplano que comparte Bolivia y Perú, en base a esta diversidad, la colección boliviana de quinua está conformada por más de 3000 accesiones” (Veramendi *et al.*, 2013).

La quinua, es una especie nativa del altiplano andino que viene siendo cultivada desde hace cientos de años, principalmente por las culturas andinas Tiahuanacota e Incaica para su consumo y comercialización, hoy la producción de quinua en el altiplano es realizada por familias productoras individuales y por otras que están organizadas en asociaciones de productores como la Asociación Nacional de Productores de Quinua (ANAPQUI), y la Asociación de Productores de Quinua Salinas (APQUISA) entre otros (Huayllas *et al.*, 2020).

##### **3.1.2. Distribución geográfica de la quinua**

La quinua cultivada presenta una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas (suelos, precipitación, temperatura, altura, resistencia a heladas, sequía, salinidad y acidez), por la que puede considerarse como una especie oligocéntrica, con centro de origen de amplia distribución y diversificación múltiple (Mujica & Jacobsen, 1999).



La distribución de la quinua se inicia con la expansión del imperio incaico, que se extiende desde Pasto en Colombia hasta el río Maule en Chile y Catamarca en Argentina. En Colombia la quinua es cultivada por los Chibchas por toda la sábana bogotense. Su cultivo es generalizado en la sierra ecuatoriana principalmente en los departamentos de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y el Cañar. En Perú, su cultivo se ha generalizado en el altiplano, valles interandinos e inclusive, en la costa. En Bolivia, está distribuida tanto en el altiplano, valles interandinos y en los salares existentes al sur. En Chile, su cultivo se ubica mayormente en la zona colindante al altiplano boliviano, y al sur. Antiguamente fue cultivada por los Araucanos y Mapuches, que la distribuyeron hasta la Isla de Chiloé. En Argentina, su cultivo llegó hasta Catamarca, pero luego por razones de mayor competitividad de otros cultivos se replegó a la parte noreste (Mujica & Jacobsen, 1999).

El cultivo de la quinua del área andina se ha difundido a los demás países de Sudamérica a través de los programas de cooperación como PROCISUR, PROCIANDINO, JUNAC, y FAO. De allí pasó a Centro América y México, inicialmente con fines de investigación y luego para producción, y también a los Estados Unidos, principalmente con cultivares del sur del Perú, Bolivia y Chile. El material genético del área andina es intercambiado y difundido a nivel personal entre investigadores, luego entre institutos de investigación, y finalmente a través de programas cooperativos entre países. Actualmente, la quinua está difundida en Europa, donde fue investigada inicialmente en universidades, y luego por empresas interesadas en el consumo de productos vegetarianos y productos naturales (Mujica & Jacobsen, 1999).

En los últimos años, la quinua está presente 123 países ya sea con fines de investigación o producción, pero el 74 % del comercio internacional de la quinua continúa siendo liderado por Perú y Bolivia (Alandia *et al.*,2020).

La distribución geográfica de la quinua en Bolivia es amplia y por estudios realizados por Rojas (2002) y Rojas *et al.* (2010), la variabilidad de quinua se distribuye en el polígono comprendido por 15° 42'S provincia Omasuyo del departamento de La Paz, 21° 57'S provincia Omiste del departamento de Potosí, 64° 19'O provincia Tomina del

departamento de Chuquisaca y 69° 09'O de Manco Kapac del departamento de La Paz (Veramendi *et al.*, 2013).

### **3.1.3. Descripción taxonómica del cultivo de quinua**

La quinua es una planta de la familia Amaranthaceae, género *Chenopodium*. El género *Chenopodium* es el principal dentro de la familia Chenopodiaceae y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies (Giusti, 1970 citado por Mujica, *et al.*, 2001).

La clasificación taxonómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) fue actualizada por el Grupo para la Filogenia de las Angiospermas “The Angiosperm Phylogeny Group” (APG) es la siguiente (Hong *et al.*, 2017):

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub Clase: Angiospermas

Orden: Caryophyllales

Familia: Amaranthaceae

Sub familia: Chenopodioideae

Género: *Chenopodium*

Especie: *Chenopodium quinoa* Willdenow

Nombre común: Quinua

### **3.1.4. Descripción botánica y morfológica del cultivo de quinua**

De acuerdo a lo que mencionan Mujica *et al.* (2001) la quinua, es una planta herbácea anual, de amplia dispersión geográfica, presenta características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en las diferentes zonas agroecológicas donde se la cultiva, fue empleada como alimento desde tiempos inmemoriales, se calcula que su domesticación ocurrió hace más de 7000 años a.C., presenta una gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales, se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm, desde zonas áridas, hasta zonas húmedas y

tropicales, desde zonas frías hasta templadas y cálidas; es muy tolerante a los factores abióticos adversos como la sequía, helada, salinidad de suelos y otros que usualmente afectan a las plantas cultivadas.

La quinua es una planta anual, dicotiledónea, herbácea, que puede alcanzar una altura de 0,2 a 3,0 m. pudiendo presentar diferentes colores como verde, morado, rojo o colores intermedios entre estos. El tallo principal puede ser ramificado o no, esto depende del ecotipo, raza, densidad de siembra y de las condiciones del medio en que se cultiven, es de sección circular en la zona cercana a la raíz, tornándose en angular a la altura de las ramas y hojas. Es más frecuente que la quinua presente el hábito ramificado en las razas cultivadas en los valles interandinos del sur del Perú y Bolivia, en cambio, el hábito simple se observa en pocas razas cultivadas en el altiplano y en varias de las razas del centro y norte del Perú y Ecuador (Tapia, 1990; Mujica, 1992 citado por PROINPA, 2011).

El período vegetativo del cultivo de quinua varía desde los 90 hasta los 240 días, puede crecer óptimamente con precipitaciones de 200 a 2600 mm anuales, se puede adaptar a suelos ácidos con un pH de 4.5 hasta suelos alcalinos con pH de 9.0, sus semillas pueden germinar hasta con 56 mmhos/cm de concentración salina, se puede adaptar a diferentes tipos de suelos desde los arenosos hasta los arcillosos, la coloración de la planta es también variable con los genotipos y etapas fenológicas (Mujica, *et al.*, 2001).

#### **3.1.4.1. Planta**

La planta, es erguida, alcanza alturas variables desde 30 a 300 cm, dependiendo del tipo de quinua, de los genotipos, de las condiciones ambientales donde crece, las de valle tienen mayor altura que las que crecen por encima de los 4000 msnm, su coloración varía con los genotipos, es clasificada como planta C3 (Mujica *et al.*, 2001).

#### **3.1.4.2. Raíz**

La raíz de la quinua es pivotante, con una raíz principal de la cual salen raíces laterales muy ramificadas la longitud de las raíces pueden medir de 0.8 a 1.5 m.,

pudiendo alcanzar hasta 1.80 m de profundidad en suelos arenosos y bajo condiciones de sequía (Gomez & Aguilar, 2016).

#### **3.1.4.3. Tallo**

El tallo de la planta de quinua es cilíndrico a nivel del cuello y anguloso a partir de las ramificaciones, el grosor del tallo es mayor en la base que en el ápice, existen genotipos ampliamente ramificados (quinuas de valle) incluso desde la base (quinuas del nivel del mar) y otros de tallo único (quinuas del altiplano), así como genotipos intermedios, dependiendo del genotipo, densidad de siembra y disponibilidad de nutrientes, el color del tallo varía desde el verde al rojo, presenta estrías y también axilas pigmentadas de color rojo, o púrpura. El tallo interiormente contiene una médula, que a la madurez desaparece, quedando seca, esponjosa y vacía; la arquitectura de la planta puede ser modificada por el ataque de insectos, daños mecánicos o por algunas labores culturales. El diámetro del tallo es variable con los genotipos, distanciamiento de siembra, fertilización, condiciones de cultivo, variando de 1 a 8 cm de diámetro (Mujica *et al.*, 2001).

#### **3.1.4.4. Hojas**

Las hojas son polimorfas en una misma planta; las basales son grandes y pueden ser romboidales o triangulares, las hojas ubicadas alrededor de la panoja son lanceoladas. Su color varía desde el verde, rojo, amarillo y el violeta, contienen además gránulos en su superficie que cubre la hoja que células ricas en oxalato de calcio y son capaces de retener una película de agua, lo que aumenta la humedad relativa de la atmósfera que rodea a la hoja y disminuye la transpiración (PROINPA, 2011).

En muchas zonas del área andina se utilizan las hojas tiernas como hortaliza de hojas apta en la alimentación humana, recibiendo el nombre de Ilipcha en quechua y Chiwa en Aymara cuyo contenido de proteína es de 3.3 % (Cornejo, 1976 citado por Mujica *et al.*, 2001).

#### **3.1.4.5. Inflorescencia**

La inflorescencia se denomina panoja por tener un eje principal más desarrollado, del cual nacen ejes secundarios y en algunos casos terciarios. Fue Cárdenas (1944) quien agrupó por primera vez a la quinua por su forma de panoja, en amarantiforme, glomerulada e intermedia. Como afirma Gandarillas (1968a) la forma de panoja está determinada genéticamente, siendo dominante la forma glomerulada sobre la amarantiforme, razón por la cual parece dudoso clasificar panojas intermedias (PROINPA, 2011).

La longitud de la panoja es variable según los genotipos, lugar donde se desarrolla y de la fertilidad de los suelos, alcanzando de 30 a 80 cm de longitud por 5 a 30 cm de diámetro, el número de glomérulos por panoja varía de 80 a 120 y el número de semillas por panoja de 100 a 3000, encontrando panojas grandes que rinden hasta 500 gramos de semilla por inflorescencia (Mujica *et al.*, 2001).

#### **3.1.4.6. Flores**

Las flores son sésiles o pediceladas y están agrupadas en glomérulos. La posición del glomérulo en la inflorescencia y la posición de las flores dentro del glomérulo, determinan el tamaño y el número de los granos o frutos. Es una planta ginomonoica (presenta flores hermafroditas y pistiladas en la misma planta), las flores hermafroditas se ubican en el ápice del glomérulo y pistiladas en la base de la panoja o en glomérulos axilares. La proporción de flores hermafroditas y pistiladas es variable; el rango encontrado varía de 2 a 98 %; además de ello, algunas variedades de quinua tienen esterilidad masculina. La quinua se considera autógama con un porcentaje de cruzamiento de 17 %, aproximadamente (Gomez & Aguilar, 2016).

Las flores permanecen abiertas por un período que varía de 5 a 7 días, y como no se abren simultáneamente, se determinó que el tiempo de duración de la floración está entre 12 a 15 días (Heisser y Nelson, 1974; Mujica, 1992; citado por PROINPA, 2011, Lescano, 1994).

#### **3.1.4.7. Fruto**

El fruto de la quinua es un aquenio de forma lenticular, elipsoidal o cónico y está constituido del pericarpio (capa del fruto) y la semilla. El pericarpio está adherido a la capa de la semilla tiene alveolos en su superficie y la saponina, el fruto puede alcanzar entre 1,5 a 3 mm de diámetro (Gomez & Aguilar, 2016).

#### **3.1.4.8. Semilla**

La semilla es el fruto maduro sin el pericarpio, presenta tres componentes bien definidas que son: Episperma, embrión y perisperma. La episperma, está constituida por cuatro capas: una externa de superficie rugosa, quebradiza, la cual se desprende fácilmente al frotarla, en ella se ubica la saponina y cuya adherencia a la semilla es variable con los genotipos, la segunda capa es muy delgada y lisa, se observa sólo cuando la capa externa es translúcida; la tercera capa es de coloración amarillenta, delgada y opaca y la cuarta capa, translúcida, está constituida por un solo estrato de células (Villacorta y Talavera, 1976 citado por Mujica *et al.*, 2001).

El embrión, está formado por dos cotiledones y radícula, constituye el 30 % del volumen total de la semilla, es de color amarillento, en ella se encuentra la mayor cantidad de proteína, la radícula es de color castaño oscuro y el perisperma está constituido mayormente por granos de almidón (Mujica *et al.*, 2001).

#### **3.1.5. Fenología del cultivo**

La fenología tiene como finalidad estudiar y describir los diferentes eventos fenológicos que se dan en las especies vegetales, el conocimiento de las de las fases fenológicas es importantes para la implementación de todo sistema agrícola, permitiendo a los productores obtengan con su aplicación una mayor eficiencia en la planificación y programación de las diferentes actividades agrícolas (Tito *et al.*, 2017).

Tito *et al.*, (2017) afirman que la Fenología es la rama de la Agrometeorología que trata del estudio de la influencia del medio ambiente físico sobre los seres vivos, dicho estudio se realiza a través de las observaciones de las manifestaciones de las fases biológicas resultantes de la interacción entre los requerimientos climáticos de la planta

y las condiciones de tiempo y clima reinantes en su hábitat, en tal sentido, en las observaciones agrometeorológicas se realizan las observaciones de la planta y de su medio ambiente físico en forma conjunta. Estas observaciones fenológicas son importantes porque permiten determinar:

- a. Los requerimientos bioclimáticos de los cultivos
- b. Calendarios agrícolas
- c. Zonificaciones agroclimáticas
- d. Herramientas para una planificación de la actividad agrícola

La fenología son los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta, cuyo seguimiento es importante para efectuar futuras labores culturales, riegos, control de plagas y enfermedades, aporques, identificación de épocas críticas; asimismo le permite tener una idea concreta sobre los posibles rendimientos de sus cultivos, mediante pronósticos de cosecha, puesto que el estado del cultivo es el mejor indicador del rendimiento (Mujica *et al.*, 2001).

La quinua es un cultivo altamente resistente a la sequía siendo la flexibilidad fenológica y acortamiento del ciclo vegetativo los mecanismos que se reportan como medida de evasión a la sequía (Jacobsen *et al.*, 2003; García, 2003 citado por Veizaga & Geerts, 2013).

#### **3.1.5.1. Fases fenológicas de la quinua**

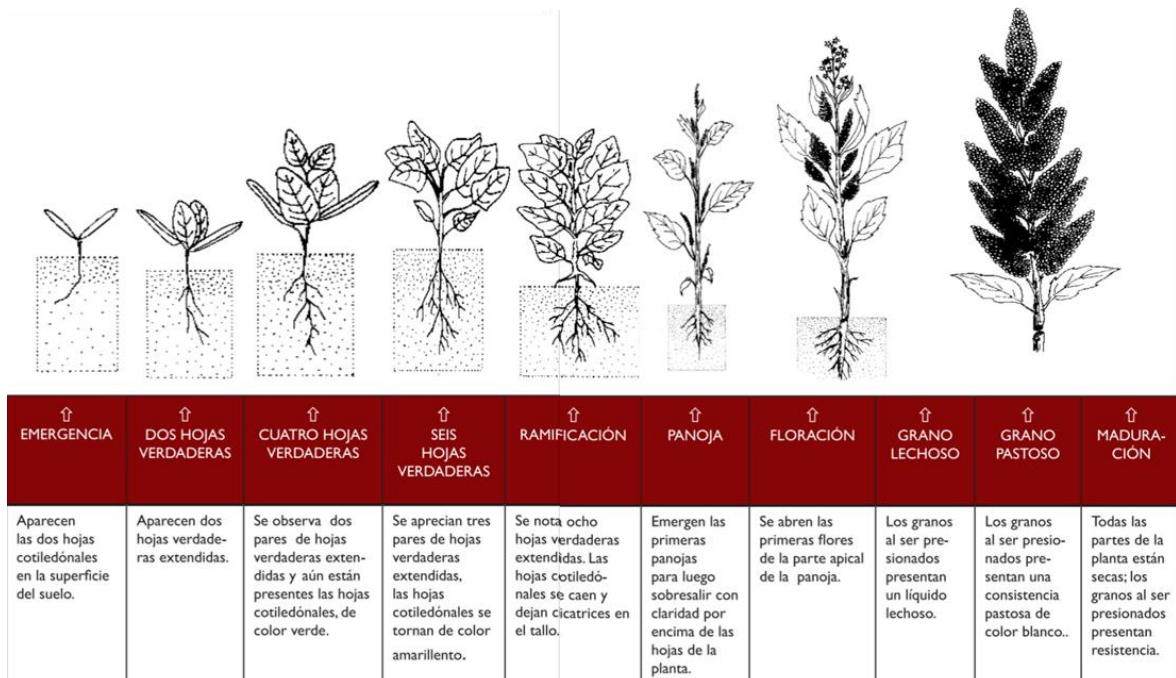
El ciclo vegetativo de la quinua es de 180 días como promedio, dependiendo de las ecorregiones” (Zenteno *et al.*, 2013).

La quinua presenta fases fenológicas bien marcadas y diferenciables, las cuales permiten identificar los cambios que ocurren durante el desarrollo de la planta, se han determinado doce fases fenológicas (Mujica & Canahua, 1989 citado por Mujica *et al.*, 2001). Tito *et al.* (2017), sostiene que la quinua presenta 10 fases fenológicas que abarca desde la fase cotiledonal hasta la madurez.

“La germinación de la semilla de quinua se inicia a las pocas horas de tener humedad, alargándose primero la radícula que continúa creciendo y da lugar a una raíz pivotante vigorosa” (Tapia *et al.*, 1979).

Fernandez & Sahonero (2013) describen que el cultivo de quinua presenta 12 fases fenológicas: Fase 1: Emergencia, fase 2: Dos hojas verdaderas, fase 3: Cuatro hojas verdaderas, fase 4: Seis hojas verdaderas, fase 5: Ramificación, fase 6: Inicio de panojamiento, fase 7: Panojamiento, fase 8: Inicio de floración, fase 9: Floración, fase 10: Grano lechoso, fase 11: Grano pastoso y fase 12: Madurez Fisiológica.

**Figura 1. Fases fenológicas de la quinua.**



**Fuente:** Tito *et al.* (2017).

Las fases son descritas a continuación:

### 1) Emergencia

La fase de emergencia ocurre cuando la plántula sale del suelo y extiende las hojas cotiledonales, esto ocurre de los 7 a 10 días de la siembra, siendo susceptible al ataque de aves ya que las dos hojas cotiledonales salen protegidas por el epispermo y pareciera mostrar la semilla encima del talluelo y siendo preferidas por las aves por la



suculencia de los cotiledones, la plántula en esta fase muestra resistencia a la sequía y al frío (Lescano, 1994).

## **2) Dos hojas verdaderas**

Esta fase se diferencia cuando aparecen dos hojas verdaderas que son romboidales y se encuentra en botón el siguiente par de hojas, ocurre de los 15 a 20 días después de la siembra, en esta fase se produce generalmente el ataque de insectos cortadores de plantas tiernas tales como *Copitarsia turbata* (Mujica *et al.*, 2001).

## **3) Cuatro hojas verdaderas**

Se observan dos pares de hojas verdaderas extendidas y aún están presentes las hojas cotiledonales, encontrándose en botón foliar las siguientes hojas del ápice en inicio de formación de botones en la axila del primer par de hojas; ocurre de los 25 a 30 días después de la siembra, en esta fase la plántula muestra buena resistencia al frío y sequía; sin embargo, es muy susceptible al ataque de masticadores de hojas como *Epitrix subcrinita* y *Diabrotica spp* (Mujica *et al.*, 2001).

## **4) Seis hojas verdaderas**

En esta fase se observan tres pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas cotiledonales se tornan de color amarillento. Esta fase ocurre de los 35 a 45 días de la siembra, en la cual se nota claramente una protección del ápice vegetativo por las hojas más adultas, especialmente cuando la planta está sometida a estrés térmico (temperaturas bajas), hídrico o salino (Lescano, 1991 y 1994).

## **5) Ramificación**

Se observa ocho hojas verdaderas extendidas, las hojas cotiledonales se caen, se nota presencia de inflorescencia protegida por las hojas, ocurre de los 45 a 50 días de la siembra, en esta fase la parte más sensible a las bajas temperaturas y heladas no es el ápice sino por debajo de éste, y en caso de bajas temperaturas que afectan a las plantas, se produce el "Colgado" del ápice (Mujica *et al.*, 2001).

## **6) Inicio de panojamiento**

La inflorescencia va emergiendo del ápice de la planta, observándose alrededor aglomeración de hojas pequeñas, las cuales van cubriendo a la panoja en sus tres cuartas partes. Ello ocurre de los 55 a 60 días de la siembra. Así mismo se puede apreciar amarillamiento del primer par de hojas verdaderas (hojas que ya no son fotosintéticamente activas). En esta etapa ocurre el ataque de la primera generación de *Eurisacca quinoa* (O'hona-qhona), formando nidos, enrollando las hojas y haciendo minas en las hojas (Lescano, 1971).

Según Mujica & Canahua (1989) en esta fase de inicio de panojamiento la planta es medianamente susceptible a las heladas.

## **7) Panojamiento**

La inflorescencia sobresale con claridad por encima de las hojas, se puede observar en los glomérulos de la base los botones florales individualizados, ello ocurre de los 65 a los 70 días después de la siembra, a partir de esta etapa hasta inicio de grano lechoso se puede consumir las inflorescencias en reemplazo de las hortalizas de inflorescencia tradicionales (Mujica *et al.*, 2001).

## **8) Inicio de floración**

Es cuando la flor hermafrodita apical se abre mostrando los estambres separados. Se puede notar en los glomérulos las anteras protegidas por el perigonio de un color verde limón. Ocurre de los 75 a 80 días después de la siembra. En esta fase la quinua es bastante sensible a la sequía y heladas (Lescano R. , 1971).

## **9) Floración o antesis**

La floración es cuando el 50 % de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas, lo que ocurre de los 90 a 100 días después de la siembra. Debe observarse la floración a medio día. Así mismo, la planta comienza a eliminar las hojas inferiores que son menos activas fotosintéticamente. Esta fase es muy sensible a las heladas, pudiendo resistir sólo hasta -2°C. Por otro lado, se ha observado que en esta etapa cuando se

presentan altas temperaturas que superan los 38 °C se produce aborto de las flores, sobre todo en invernaderos o zonas desérticas calurosas (Lescano R. , 1971).

### **10) Grano lechoso**

El estado de grano lechoso es cuando los frutos que se encuentran en los glomérulos de la panoja, al ser presionados explotan y dejan salir un líquido lechoso, lo que ocurre de los 100 a 130 días de la siembra, en esta fase el déficit hídrico es sumamente perjudicial para el rendimiento, disminuyéndolo drásticamente (Mujica & Canahua, 1989).

### **11) Grano pastoso**

El estado de grano pastoso es cuando los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco, lo que ocurre de los 130 a 180 días de la siembra. En esta fase el ataque de la segunda generación de “Q'hona qhona” (*Eurissacca quinoa*) causa daños considerables al cultivo, formando nidos y consumiendo el grano (Lescano R. , 1971).

### **12) Madurez fisiológica**

Es cuando el grano formado, al ser presionado por las uñas, presenta resistencia a la penetración. Ocurre de los 160 a 180 días después de la siembra. El contenido de humedad del grano varía de 14 a 16 %, así mismo, en esta etapa ocurre un amarillamiento completo de la planta y una gran defoliación (Mujica & Canahua, 1989).

En el país es posible encontrar accesiones que alcanzan la madurez fisiológica en 110 días hasta accesiones que maduran en 209 días. Esta característica es fuertemente dependiente del genotipo. Las quinuas de los Valles Interandinos son más tardías que las del altiplano. El amplio rango de variación del ciclo vegetativo es alentador para la adaptación del cultivo a la variabilidad de clima y cambio climático (Rojas & Pinto, 2013).

Saravia y Bonifacio (2014) mencionan que, la fenología se refiere a los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta, que es influenciada por

diversos factores como las condiciones ambientales, latitud, altitud, épocas de siembra, tipo de suelo y genotipo. A continuación, se mencionan 10 fases fenológicas importantes desde la emergencia hasta la madurez fisiológica en la zona agroecológica del altiplano: cotiledonal, dos hojas verdaderas, ramificación inicio de panojamiento, panojamiento, inicio de floración, floración, grano lechoso, grano pastoso o masoso, y madurez fisiológica.

### **3.1.6. Importancia del cultivo de quinua**

Actualmente la quinua se usa en la alimentación de casi todos los centros andinos, sobre todo por su valor nutritivo, lo cual ha conllevado al incremento de su área cultivada. Sólo en los países andinos se cultivan más de 70000 has. y se estima que su potencial de expansión puede cuadruplicar esa cifra. El cultivo de quinua se fue extendiendo a otros países como Estados Unidos, Dinamarca, Inglaterra, Finlandia, India, y por ende, se empieza a consumir ampliamente en diferentes mercados de Europa, Estados Unidos y Japón (Tapia, 1999).

El cultivo de la quinua es importante por sus altos valores nutricionales, con un contenido de proteína promedio de 17 % (López J. , 1976). Debido al elevado y balanceado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como uno de los alimentos del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales (FAO, 2011 citado por Gabriel, 2013)

Uno de los lugares más áridos en Bolivia es el sur del Altiplano con presencia de sequía, salinidad, heladas y granizo, aunque se presenten estas condiciones extremas, se produce el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) como el cultivo más importante. El Altiplano sur boliviano es el área principal de producción de quinua a nivel mundial. Es por eso que se puede afirmar que esta región es importante para la economía local (Veizaga & Geerts, 2013).

La quinua se puede aprovechar en grano entero, hojuelas o harina en diversos productos, se puede producir leche de quinua, además de tener un potencial importante en la elaboración de alimentos para personas alérgicas al gluten, en cereales para desayuno, pastas alimenticias, y galletas, entre otros. La quinua también

puede usarse en la elaboración de alimentos para ganado en presentaciones de gránulos y forrajes, asimismo se la puede aprovechar como cultivo de cobertura. Finalmente, lo que las partes de la quinua que pueden ser aprovechadas industrialmente son su almidón, proteínas y saponinas. Es importante identificar y explotar las propiedades potenciales de la quinua para desarrollar tecnologías que permitan la utilización de estas propiedades, para que de esa manera el cultivo de quinua pueda ser competitiva respecto con otras materias primas que generalmente son baratas. Una de las biomoléculas que se puede aprovechar porque tiene varias aplicaciones industriales potenciales es el almidón. El empleo de las saponinas también podría ser de interés como insecticida, antibiótico y fungicida, como en la industria farmacéutica, sugerido como un mediador de la permeabilidad intestinal, que podría ayudar la absorción de medicamentos específicos, y para reducir el nivel del colesterol. Asimismo, se podrían utilizar las semillas tostadas o extruidas para la elaboración de dulces, snacks, leche, etc. (Mujica *et al.*, 2001).

Los beneficios característicos del cultivo de la quinua están dados por su alto valor nutricional, la proteína varía entre 13,81 y 21,9 % dependiendo de la variedad. Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO (PROINPA, 2011).

### **3.1.7. Producción de quinua**

#### **3.1.7.1. Producción a nivel mundial**

De acuerdo con lo que reporta El Fulgor (2019) alrededor de 70 países en el mundo se encuentran produciendo quinua, entre los que más se destacan están: Francia, Inglaterra, Suecia, Dinamarca, Holanda e Italia. Mientras tanto, en Kenia, India y Estados Unidos, está en proceso de desarrollo de manera experimental, según el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), citado en La Razón por Tellería, 2019.

Bolivia se destaca como productor orgánico, pero desde el 2014, Perú sigue siendo el principal exportador mundial de quinua. Según el Ministerio de Agricultura de ese país,

colocó en el mercado internacional 48.000 toneladas en el 2017, lo que representa el 47,3 % del volumen total exportado. Bolivia se encuentra atrás con 31,4 %, Estados Unidos con 5,6 % y Países Bajos con 3,6 % (Tellería, 2019).

### **3.1.7.2. Producción en Bolivia**

De acuerdo con el reporte del Centro Internacional de la Quinoa (CIQ, 2020) en el año agrícola 2018 – 2019 se tuvo una superficie de 116746 hectáreas cultivadas de quinoa, con un rendimiento promedio nacional de 0,5 toneladas/ha.

La producción de quinoa orgánica en el país aumentó de 50 mil toneladas, registrada en la campaña agrícola 2017-2018, a 67 mil toneladas en el periodo 2018-2019, según datos del Centro Internacional de la Quinoa (CIQ). Asimismo, reportan que la producción del grano de oro en Bolivia aumentó considerablemente en los últimos años. "Hemos ido alcanzando importantes volúmenes de producción de quinoa, de aproximadamente 117 mil hectáreas sembradas se han cosechado más de 67 mil toneladas destinadas al consumo interno y la exportación" (Abya Yala Digital, 2019).

La quinoa representa un producto de exportación muy popular a nivel internacional procedente de nuestro país. En el territorio boliviano se dan dos tipos de quinoa y aproximadamente tres mil subespecies de las mismas con diferentes características. Aunque la Quinoa Real sea el tipo de quinoa muy solicitado a nivel mundial y la quinoa más exportada, no se trata del principal producto de exportación boliviano. De hecho, la Quinoa Real ocupa apenas un 2 % de la producción de granos en Bolivia y apenas un 5 % de la producción de los cereales dentro de sus fronteras (Royal Quinoa Bolivia, 2019).

Royal Quinoa Bolivia (2019) sostiene que la Quinoa Real ha sido una comida típica en Bolivia desde hace siglos que antiguamente era cosechada para ser consumida en su totalidad dentro del territorio boliviano, pero debido a la creciente demanda internacional, actualmente se exporta un 90 % del total de la producción cuyo precio por tonelada puede alcanzar un precio de entre 2300 y 2500 USD.

### **3.2. Retención de humedad del suelo**

La humedad de los suelos es la variable que mejor sintetiza la compleja interacción entre el clima, el suelo y la vegetación, es crucial en la producción agrícola, la salud de los cultivos y los procesos de salinización y contaminación en los suelos, además, desempeña un rol fundamental en la conformación de los ecosistemas naturales y la biodiversidad, especialmente en condiciones de escasa disponibilidad de agua; sin embargo, los estudios relacionados con la dinámica de la humedad son sumamente complejos debido al gran número de procesos y fenómenos que en ellos intervienen, así como la elevada variabilidad en tiempo y espacio de esos fenómenos (García, 2011).

La curva de retención de humedad del suelo (CRHS) es una propiedad indispensable para el adecuado manejo agrícola, hidrológico y medioambiental. Sin embargo, factores como la elevada variabilidad espacial y el alto costo de su determinación limitan severamente la disponibilidad de información vinculada con esta propiedad (García, 2011).

Las características agroclimáticas de los Andes hacen que la agricultura sea una actividad permanente de alto riesgo. Entre los factores adversos abióticos más dañinos y generalizados tenemos las sequías, heladas, granizadas, nevadas, salinidad de suelos, inundaciones y vientos (Mujica *et al.* 2004 citado por Fernandez & Sahonero, 2013).

### **3.3. Propiedades del suelo que afectan el contenido de humedad y la curva de retención de humedad del suelo (CRHS)**

La humedad del suelo es definida como la cantidad de agua que puede ser almacenada cerca de la superficie en la zona del suelo no saturada. Estos contenidos varían continuamente en profundidad, lo cual hace que las mediciones de humedad del suelo sean a menudo costosas y problemáticas, debido en parte a la gran heterogeneidad natural, además de los problemas asociados a la descripción de procesos del agua en el suelo y los problemas de escala al extrapolar dicha información a nivel de cuencas hidrográficas (Loaiza & Pauwels, 2008).

“La curva de retención de humedad depende fuertemente de la estructura del suelo, la cual está determinada por la porosidad total y la distribución del tamaño de poros” (García, 2011).

El grado de retención de humedad es una función compleja de la estructura del suelo y de su composición. A continuación, se analiza el nexo entre la CRHS (curva de retención de humedad del suelo) y otras propiedades, no sin antes apuntar que resulta extremadamente difícil asociar el grado de retención al comportamiento individual de una determinada propiedad, es decir, sin tener en cuenta la interrelación entre estas (Rawls *et al.*, 1991; Wösten *et al.*, 2001 citado por García, 2011).

### **3.3.1. Textura**

La textura es una característica determinante ya sea, directa o indirectamente, en la curva de retención de humedad. Entre el tamaño de las partículas primarias del suelo y la superficie específica (área de las partículas por unidad de masa del material) existe una relación muy estrecha, muchas propiedades físicas y químicas del suelo están relacionadas con esta área superficial, la cual en buena medida determina el grado de retención de humedad de los suelos a los más bajos potenciales matriciales; al mismo tiempo, el papel de la textura del suelo en la retención se asocia indirectamente con la estructura, siendo que los suelos de textura más gruesa son menos estructurados y tienen menor capacidad de retención de humedad. La distribución de partículas primarias del suelo también determina los espacios de poros intraagregados o texturales, dentro de las fracciones texturales las arcillas son las de mayor interés por su gran carácter reactivo. La mineralogía de las arcillas impone patrones sumamente variables en cuanto a la retención de humedad de los suelos (García, 2011).

### **3.3.2. Contenido de materia orgánica**

Con base a la afirmación de García (2011) el contenido de materia orgánica (MO) influencia numerosas propiedades y procesos del suelo debido a su área de superficie, su alta densidad de cargas y su afinidad por el agua, la mayoría de los atributos del suelo están relacionados con la materia orgánica (estabilidad de los agregados,



resistencia a la erosión, disponibilidad de nutrientes, capacidad de intercambio, infiltración, retención de humedad, y otros).

La materia orgánica puede soportar hasta 20 veces su peso en agua, pudiendo afectar los procesos relacionados con la retención de manera directa o indirecta a través de sus efectos sobre la estructura del suelo (García, 2011).

### **3.3.3. Densidad aparente**

La densidad aparente figura entre las propiedades del suelo que más afectan las propiedades hidráulicas y los procesos relacionados, las variaciones en la retención de humedad se deben fundamentalmente a la densidad aparente. La densidad aparente debido al movimiento relativo de los agregados del suelo reforma la distribución del tamaño de poros y, por consecuente, la CRHS (García, 2011)

En suelos bajo manejo convencional y cultivación continua se afecta la característica de transmisión de agua, debido a la disminución del número de poros en la capa arable. Los poros estructurales o interagregados son los más vulnerables a los efectos de la compactación y por ende a un cambio en la densidad. Esos poros están determinados por la posición, orientación y forma de unos agregados relativos a otros y se asocian a un rango de retención entre saturación y el límite superior del agua disponible, cuando un suelo es compactado su porosidad estructural es destruida, resultando en una ganancia de poros texturales, modificando la curva de retención de humedad (Richard *et al.*, 2001 citado por García, 2011).

### **3.3.4. Estructura del suelo**

Según García (2011) la estructura del suelo es un factor primordial en la retención hídrica, pero extremadamente complejo de caracterizar ya que la estructura varía en espacio o tiempo por procesos naturales, el manejo, los ciclos de humedecimiento y secado la biología del suelo, por lo que es posible arreglos en que se pueden combinar las partículas de un suelo para dar lugar a una determinada configuración estructural.

Según Ferreyra y Selles (2013), las partículas de arena, limo y arcilla junto a las partículas orgánicas se agrupan entre sí formando agregados, lo que corresponde a la

estructura del suelo con diferentes propiedades y tipos (laminar, prismática, de bloque y granular), la que es modificable por el manejo que se le aplique.

La estructura del suelo se origina por floculación y cementación que son típicos de suelos ricos en arcilla y materia orgánica y son cruciales para la aeración, infiltración y el almacenaje de agua. Bajo condiciones cercanas a saturación, los poros grandes constituyen vías preferenciales para la rápida infiltración del agua y una vez drenados los grandes poros, el agua es redistribuida en los microporos (García, 2011).

### **3.3.5. Capacidad de cambio de bases**

La información sobre la capacidad de cambio de bases y la distribución de cationes de las superficies de intercambio se puede emplear para la caracterización y cuantificación de las arcillas minerales, el origen y la génesis de los suelos; el estrecho vínculo entre la capacidad de intercambio y el tipo de arcilla condiciona a su vez la relación con la retención de humedad (García, 2011).

Dentro de las bases intercambiables del suelo se destacan el contenido de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), ambos cationes bivalentes mejoran la estructura del suelo a través de la fortaleza del enlace de sus cargas con las partículas de arcilla que influyen en la estabilidad (García, 2011).

### **3.4. Medición de humedad del suelo**

El conocimiento del contenido de agua en el suelo o humedad edáfica es fundamental para explicar una serie de procesos de índole diversa tales como balances de agua, tasas de infiltración, generación de escorrentía, crecimiento y desarrollo de cultivos (Ward y Robinson, 2000 citado por Martínez & Ceballos, 2001).

Según Ferreyra y Sellés (2013), el contenido de humedad del suelo es la cantidad de agua expresada como masa (g) o volumen ( $\text{cm}^3$ ) que se halla presente en el suelo en un momento dado y se puede determinar en forma gravimétrica o bien, en forma volumétrica. Los métodos para determinar la humedad del suelo son el método del tacto, sonda de neutrones y la resistencia eléctrica.

### **3.4.1. HSM50 (medidor de humedad volumétrica)**

El medidor digital de humedad para suelos HSM50 (Handheld Digital Moisture Meter) de la marca OMEGA incluye una sonda de alta resistencia para permitir lecturas rápidas y precisas de los niveles de humedad en el suelo o compuesto. Los datos se muestran de forma rápida en una pantalla LCD. Es la herramienta ideal para cualquiera que necesite controlar los niveles de humedad en el suelo, utilizado por los jardineros, científicos del suelo, y en muchos otros campos donde la humedad del suelo debe ser monitoreada.

En el contenido volumétrico de agua, otra forma de expresar el contenido de humedad es utilizando relaciones de volúmenes entre el agua y el suelo de la muestra, el contenido de humedad volumétrica se determina estableciendo una relación entre el volumen de agua contenido en la muestra de suelo y el volumen que tiene la muestra de suelo (Ferreira & Selles, 2013).

### **3.5. Importancia del agua en el suelo**

La humedad del suelo es un componente clave a la hora de adoptar decisiones de planificación del riego, la zona radicular constituye un reservorio de humedad del suelo (WMO, 2008).

La función de absorber, retener y suministrar agua es una de las misiones ecológicas fundamentales que desempeña el suelo, el agua del suelo es un factor ecológico de importancia por lo que resulta fundamental determinar los volúmenes que el suelo puede contener, así como qué proporción de esta agua se encuentra disponible para las plantas (Santos *et al.*, 2006).

Shaxson & Barber (2005) señalan la productividad del suelo debería ser mantenida y mejorada con suficiente agua en el suelo, con óptimas proporciones de espacios de poros y sólidos y de suficientemente larga persistencia a tensiones disponibles para las plantas.

En suelos perturbados se debe obtener una máxima porosidad y mantener su capacidad de autorecuperación biológica en las zonas en que el agua de lluvia es un factor limitante (Shaxson, 1993).

### **3.6. Importancia de la materia orgánica en el suelo**

Román *et al.*, (2013) describen que la materia orgánica es uno de los más importantes componentes del suelo y su composición es muy variada por que proviene de la descomposición de animales, plantas y microorganismos presentes en el suelo o en materiales fuera del predio.

Se considera que la materia orgánica es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el que participan microorganismos. Los restos de materiales de organismos muertos inician un proceso de descomposición o de mineralización, y cambian de su forma orgánica a su forma inorgánica (mineral, soluble o insoluble) que fluyen por la solución de suelo y finalmente son aprovechados por las plantas o estabilizados hasta convertirse en humus, mediante el proceso de humificación (Román *et al.*, 2013).

El término humus designa a las “sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal conteniendo un 5 % de nitrógeno, por lo que su valor en el suelo se puede calcular multiplicando por 20 su contenido en nitrógeno total (Gros y Domínguez, 1992 citado por Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

El humus tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, con propiedades de reserva de nutrientes para la vida vegetal (Graetz, 1997 citado por Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

La cantidad de humus en el suelo depende de muchos factores, tales como la incorporación de nuevos restos orgánicos al suelo y su velocidad de oxidación química y biológica, la velocidad de descomposición de la materia orgánica existente ya en el

suelo, la textura del suelo, la aireación, humedad y los factores climáticos (Gros y Domínguez, 1992 citado por Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

Conforme a lo que indican Román *et al.*, (2013) la aplicación de materia orgánica en suelos debe ser una práctica permanente para incrementar el porcentaje de materia orgánica o en alimentar a los microorganismos del suelo y también en los diversos beneficios que aporta al suelo:

#### **Mejora las propiedades físicas:**

- Facilitando el manejo del suelo para las labores de arado o siembra.
- Aumentando la capacidad de retención de la humedad del suelo.
- Reduciendo el riesgo de erosión.
- Ayudando a regular la temperatura del suelo (temperatura edáfica).
- Reduciendo la evaporación del agua y regulando la humedad.

#### **Mejora las propiedades químicas:**

- Aportando macronutrientes, como N, P, K y micronutrientes.
- Mejorando la capacidad de intercambio de cationes.

#### **Mejora la actividad biológica:**

- Aportando organismos (como bacterias y hongos) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para las plantas y degradar sustancias nocivas.
- Mejorando las condiciones del suelo y aportando carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna (lombrices).

### **3.7. Enmiendas orgánicas para el suelo**

“El uso de materiales orgánicos como enmienda a los suelos agrícolas es beneficioso para la producción de cultivos y también para mantener la calidad del suelo” (Levanon & Pluda, 2002; van Heerden *et al.*, 2002 citado por Arrigo *et al.*, 2005). La importancia de restablecer los niveles de materia orgánica en el suelo que compensen las pérdidas por mineralización, sumado a criterios medioambientales que tienden a la

revalorización de residuos, hace que en las últimas décadas la incorporación de éstos, compostados o no, se haya incrementado considerablemente (Rogers *et al.*, 2002 citado por Arrigo *et al.*, 2005).

Se define como enmienda orgánica, el producto procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizado fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar, también, su actividad química o biológica. La enmienda mineral es cualquier sustancia o producto mineral, natural o sintético, No se consideran abonos; se utilizan para modificar y mejorar las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo (Delgado-Londoño, 2017)

Las enmiendas y abonos orgánicos calientan el suelo lo que le permite absorber con mayor facilidad los nutrientes, también mejora la estructura y textura del suelo haciéndole más ligero a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos, además, permite mejorar la permeabilidad del suelo ya que influye en el drenaje y aireación de éste, aumenta la retención de agua en el suelo cuando llueve y contribuye a mejorar el uso de agua para riego por la mayor absorción del terreno; además, disminuye la erosión ya sea por efectos del agua o del viento (Mosquera, 2010).

### **3.7.1. Ceniza volcánica**

Las cenizas volcánicas se forman a partir de la fragmentación del magma y de materiales en el cono del volcán provenientes de erupciones anteriores (Galarza *et al.*, 2017).

Los suelos de cenizas volcánicas representan aproximadamente el 0,84 % de los suelos a nivel global y se localizan predominantemente en regiones tropicales. La ceniza volcánica presenta reacción medianamente ácida a neutra, levemente variable según el lugar de recolección, pero con baja capacidad buffer o de amortiguación de pH (Galarza *et al.*, 2017). Esto indica que, agregadas al suelo que en la región en general posee un pH cercano a la neutralidad y una buena capacidad de amortiguación, no se espera que produzcan efectos en la reacción de este. La conductividad eléctrica de la suspensión de las cenizas en agua es baja, de acuerdo

con la escala utilizada para la calificación de suelos con relación al contenido de sales. Es por esto se espera que al incorporarse las mismas al suelo no produzcan salinización (Galarza *et al.*, 2017).

La ceniza volcánica es un material piroclástico cuya granulometría depende de la energía liberada durante la erupción, y es el producto de la fragmentación y trituración del magma y de la roca encajonante durante erupciones de carácter explosivo (Colombo & Martí, 1992; Mazzoni, 1986 citado por Galarza *et al.*, 2017).

Actualmente se están evaluando diferentes tipos de usos para la ceniza volcánica, una alternativa es emplearla como componente de sustratos para plantas; en este sentido, Barbaro *et al.* (2015) analizaron diferentes muestras de cenizas volcánicas y elaboraron sustratos formulados con turba Sphagnum y 20% o 50% de ceniza fina, media o gruesa para evaluar el desarrollo de plantas de coral (*Salvia splendens L.*). Como resultado, los análisis de las muestras recolectadas mostraron propiedades físicas y físico-químicas adecuadas y todas las plantas desarrolladas en los sustratos formulados fueron de calidad. La ceniza volcánica se destacó por presentar una alta porosidad de aireación, por consiguiente, podría ser un material alternativo al uso de perlita expandida (Guevara *et al.*, 2015).

La ceniza volcánica hidrófoba constituye el principal factor de interferencia durante la eluviación y lixiviación de las sales, sobre todo cuando se altera el nivel del manto freático. La ceniza volcánica es un material constituido, en su mayoría, por minerales como alófanos, y haloisita derivados de la meteorización de las cenizas volcánicas, en particular del vidrio volcánico; la cual además tiene una estructura cementada muy porosa conformada por agregaciones aleatoriamente distribuidas de tamaño limo y minerales de la fracción arcillosa. Su cementación es generalmente producida por minerales de arcilla tales como alofana, imogolita, haloisita y ferrihidrita, o compuestos de humus, Al/Fe y opalina silíceo (Lizcano *et al.*, 2006).

### 3.7.2. Biochar

El biochar, o biocarbono, es un producto de grano fino y poroso similar en sus propiedades al carbono vegetal. Se obtiene a partir de cualquier tipo de residuo orgánico por un proceso de carbonización a baja presión de oxígeno que puede tener lugar por vía seca (pirólisis) o por vía húmeda (carbonización hidrotermal, HTC) (Libra *et al.*, 2011).

El biochar presenta características similares a compost y vermicompost aunque es más estable. De hecho, se dice que es recalcitrante por este mismo motivo (Lehmann y Joseph, 2010 citado por Liu Xu, 2015).

El uso de biochar supone una alternativa de gestión ambiental que está adquiriendo gran repercusión en los últimos años, ya que puede ser una vía de actuación simultánea en varios frentes: mejorar la productividad de suelos agrícolas, valorizar residuos y actuar como sumidero de CO<sub>2</sub>. El biochar puede actuar como mejorante de suelos aumentando su fertilidad como consecuencia del aumento de la capacidad de intercambio catiónico de los mismos y del aumento del pH en suelos ácidos. La utilización de biochar lleva asociados beneficios ambientales potenciales, gracias al aumento de la capacidad de retención de agua y de nutrientes y la consecuente mejora de la calidad del agua (reducción de lixiviados). El carbón vegetal obtenido mediante pirólisis es una sustancia estable rica en carbono, cuya aplicación en suelos comporta una retención o secuestro de carbono. Algunos autores se refieren al uso del biochar como una estrategia que implica un ciclo negativo de carbono y, por lo tanto, la vía más interesante para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante el uso de biomasa (Fowles, 2007; Gaunt & Lehmann, 2008 citado por Videgain *et al.*, 2019). El grado de conocimiento sobre el efecto del biochar en el sistema suelo-planta-microorganismos es muy reciente y los resultados consultados son muy variables y dependientes del tipo de experimento llevado a cabo (Videgain *et al.*, 2019).

El biochar está compuesto por una gran cantidad de carbono altamente estable, y secuestra carbono si es usado como enmienda (Brewer *et al.*, 2009). Esto depende de su calidad, medida como la cantidad de carbono lábil respecto al recalcitrante, que



influye en su potencial de secuestro de carbono (Bruun *et al.*, 2011). El carbono lábil puede estimular la mineralización de la materia orgánica del suelo, pero a largo plazo el biochar aumenta la estabilización de los componentes orgánicos biogénicos a través de adsorción y humificación (Zimmerman *et al.*, 2011). Por otra parte, usado como enmienda, reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos de nitrógeno en los cultivos porque el biochar disminuye las pérdidas de nitrógeno debidas a la lixiviación y porque puede reducir emisiones de N<sub>2</sub>O. La aplicación de biochar reduce la densidad aparente del suelo e incrementa por tanto la porosidad y aireación. Así pues, las enmiendas con biochar tienen el potencial de mejorar la retención de nutrientes y el agua del suelo. Esto resulta en una reducción del lixiviado de nutrientes y de un aumento en la retención de agua disponible para la planta. Estas dos características podrían incrementar la producción neta o mejorar el uso eficiente de nutrientes y agua de los cultivos (Kauffman *et al.*, 2014). Las ventajas del biochar, por tanto, pueden ser resumidas en: secuestro de carbono, reducción potencial de emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y efecto en los niveles de carbono orgánico del suelo y sobre los cultivos (Liu Xu, 2015).

### **3.7.3. Compost**

Haug (1993) citado por Barrena (2006) define el compostaje como “la descomposición y estabilización biológica de substratos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas como resultado del calor producido biológicamente, para producir un producto final estable, libre de patógenos y semillas, y que puede ser aplicado de forma beneficiosa al suelo”.

Atendiendo a la definición propuesta por Haug (1993) citado por Huerta *et al.*, 2011, el compost es una materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manipulada y almacenada sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas. La concepción “que sea beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas” exige que el compost, entre otros factores, esté libre de contaminantes o que los presente en contenidos bajos.

El compost es un compuesto orgánico que se obtiene mediante un proceso de descomposición) biológico aeróbico donde actúan microorganismos sobre sustratos orgánicos de origen vegetal y/o animal. El mejor compost es el que utiliza ambos tipos de sustratos. Se consideran dos tipos de compost: el compost joven o inmaduro, es aquél que está poco descompuesto y finaliza su descomposición una vez que se encuentra aplicado al suelo. El compost maduro es aquél que está debidamente descompuesto y puede utilizarse para cualquier tipo de cultivo. En la quinua se recomienda una dosis de 30 qq/ ha ó 1,5 t/ha., pudiendo llegar hasta 5 t/ha (Navia *et al.*, 2013).

Navia *et al.* (2013) refiere que el uso del compost tiene muchas ventajas para mejorar la producción de cultivos y conservar la fertilidad de los suelos agrícolas. Las más importantes, por su efecto en el suelo son:

Mejora las propiedades físicas del suelo:

- Favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola,
- Reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y
- Aumenta la capacidad de retención de agua en el suelo.

Mejora las propiedades químicas:

- Aumenta el contenido de macronutrientes como: N, P, K y de micronutrientes,
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), y
- Es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.

Mejora la actividad biológica del suelo:

- Actúa como sustrato y alimento de los microorganismos que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.

#### **3.7.4. Zeolita**

Como expresan Soca-Núñez & Villarreal-Núñez (2016) para incrementar la producción en los suelos pardos de Cuba (Inceptisoles y Mollisoles), se vienen usando diferentes tipos de enmiendas como las zeolitas que mejoran sus propiedades y contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios.

Las zeolitas son enmiendas que mejoran las propiedades químicas de los suelos y son efectivas para incrementar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la zona de las raíces y disminuir las aplicaciones de fertilizantes, reduciendo las pérdidas por volatilización y lixiviación de los mismos (Gholamhoseini *et al.* 2013).

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos y porosos que les permite el intercambio iónico sin cambiar su estructura atómica (López *et al.*, 2010). Las zeolitas son apropiadas para retener iones como el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y retrasar el proceso de nitrificación, reduciendo la lixiviación de amonios y nitratos hacia aguas subterráneas gracias a su alta CIC del orden de 120 a 200  $\text{cmol}^+(\text{kg}^{-1})$ . Inclusive investigadores como Zwingmann *et al.* (2009), han reportado que las zeolitas tratadas pueden incrementar hasta once veces la capacidad de retención de amonio, pudiéndolas clasificar como fertilizantes de liberación lenta. Otros beneficios de su aplicación han sido reportados como: mejorar la capacidad de retención de humedad de la capa arable, facilitar el movimiento del agua en el perfil y reducir la densidad aparente del suelo, lográndose un incremento de producción en la cosecha de los cultivos, y sobre todo, reduciendo el impacto ecológico (Colombani *et al.*, 2014). La zeolita no actúa como fertilizante sino como enmienda que permite incrementar la eficiencia de los fertilizantes, permitiendo una disponibilidad controlada de los cationes que son utilizados por las plantas en su nutrición (Costafreda, 2014 citado por Soca-Núñez & Villarreal-Núñez, 2016).

La zeolita es una arcilla natural que cuando se adiciona se crea una malla molecular capaz de retener iones en el suelo, haciendo que el sistema suelo-planta sea más eficiente en términos de mayor producción por unidad de área y de menor contaminación del recurso hídrico de los acuíferos. La zeolita es un aluminosilicato hidratado cristalino (arcilla) con estructuras tridimensionales, caracterizados por la habilidad de retener y liberar agua e intercambiar iones sin modificar su estructura atómica, intercambian cationes como  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ , así como diversos compuestos de fosfatos, amonio y componentes de la materia orgánica. Posee una estructura tridimensional rígida (similar a un panal de abejas) conformado por una red de túneles interconectados creando una amplia área superficial para realizar el

intercambio catiónico y la adsorción de humedad. Esta última puede entrar y salir de la armazón tridimensional sin variar la estructura de la arcilla (Chica *et al.*, 2006).

Soca-Núñez & Villarreal-Núñez (2016) reportan que estudios recientes como los realizados por Colombani *et al.* (2014), muestran el potencial de uso de las zeolitas junto al estiércol de cerdo como abonos de liberación lenta, minimizando la lixiviación de nutrientes. Sin embargo, al igual que otras enmiendas como las cales agrícolas, la eficiencia de desempeño puede estar determinada por el tamaño de su partícula y por la dosis empleada.

La aplicación de zeolitas en diferentes tipos de suelos mejora sus propiedades químicas, especialmente las relacionadas con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la zona de las raíces y disminuye las aplicaciones de fertilizantes, lo que reduce las pérdidas por volatilización y lixiviación (Zahedi *et al.*, 2012; Gholamhoseini *et al.*, 2013 citado por Soca & Daza-Torres, 2016). Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos y porosos, lo que permite el intercambio iónico sin cambiar su estructura y son apropiadas para retener iones como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y retrasar el proceso de nitrificación, esto reduce la lixiviación de amonios y nitratos hacia aguas subterráneas, debido a su CIC alta de 120 a 200  $\text{cmol (+) kg}^{-1}$  (Soca & Daza-Torres, 2016).

## **4. LOCALIZACIÓN**

### **4.1. Ubicación geográfica**

El estudio fue realizado en el Centro Experimental Kiphakiphani, dependiente de la fundación PROINPA, que está situada en el municipio de Viacha ubicado en la Provincia Ingavi del departamento de La Paz, a 4 km al sur de la población de Viacha y a 41 km de la ciudad de La Paz, geográficamente situada a 16°17'30" Latitud Sur y 68°17'68" Longitud Oeste, a una altitud de 3880 msnm.

### **4.2. Características climáticas**

#### **4.2.1. Clima**

La zona conforme a Holdridge (1982) corresponde al clima templado frío, enmarcada por una estación seca (invierno) y una estación húmeda de cuatro meses (verano) (Mamani J. , 2018).

#### **4.2.2. Temperatura**

La temperatura promedio anual tiende a variar de 10 a 11 °C en verano (diciembre y febrero), con promedio mínimo anual de 5,6 °C en invierno (junio a agosto). Las heladas se presentan con mayor frecuencia en la época de invierno.

#### **4.2.3. Precipitación pluvial**

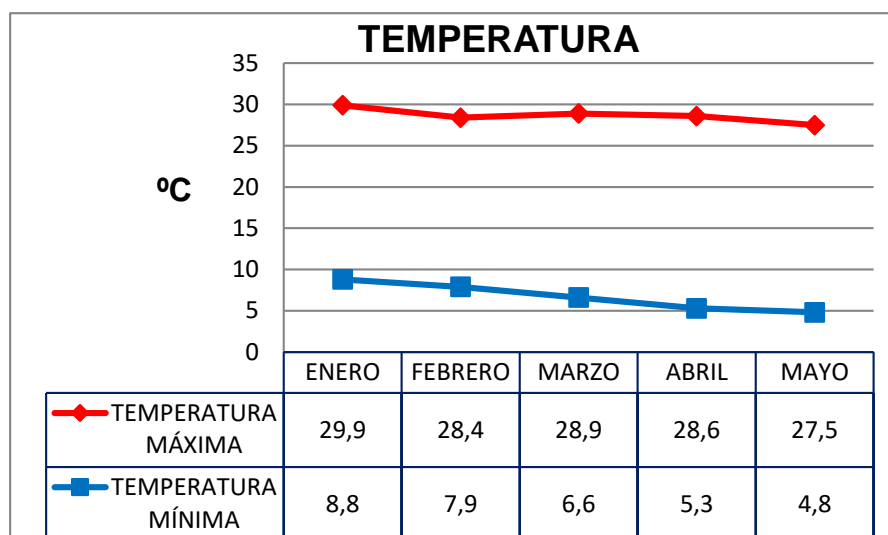
De acuerdo a datos del SENAMHI la mayor época de lluvia se presenta en el mes de enero, con un periodo lluvioso que dura en promedio cinco meses noviembre a marzo y la menor precipitación se presenta en el mes de junio a agosto. La precipitación anual registrada presenta una distribución entre noviembre y febrero, con una media total de 524.60 mm por año, la estación húmeda se extiende generalmente durante cuatro meses, de diciembre a marzo, con el 70 % de la precipitación pluvial. La sequedad es casi absoluta de mayo a agosto, la estación seca es interrumpida entre septiembre y noviembre por algunos períodos lluviosos de corta duración, de 1 a 3 días (Gobierno Autónomo Municipal de Viacha, 2016).

#### 4.2.4. Condiciones climáticas del invernadero

##### Temperatura (invernadero)

En el transcurso del ciclo del cultivo de quinua en investigación se registró los datos de temperatura mínima y máxima y se muestra el gráfico de estas a continuación:

**Gráfico 1. Comportamiento de la temperatura durante la investigación en el invernadero**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 1 se observa el comportamiento de la temperatura que se registró durante el ciclo fenológico del cultivo en estudio. La temperatura mínima descendió hasta 4,8 °C en el mes de mayo y el máximo de 29,9 °C fue registrado en el mes de enero. La media del periodo fue de 17,7 °C.

#### 4.3. Suelo

Los suelos de la zona son de origen aluvial reciente con deposiciones finas, presenta una profundidad efectiva de 25 a 32 cm ofreciendo bastante facilidad de laboreo y responde adecuadamente a la incorporación del material orgánico e inorgánico, pendiente suave de 0,56 % de micro relieve, ondulación muy ligera, con un drenaje externo moderado y con drenaje interno moderadamente lento (Mamani, 2016).

#### **4.4. Vegetación**

En esta zona la vegetación predominante está compuesta por especies nativas de tipo herbáceo y la mayoría de ellas pertenecen a la familia Poaceae (gramíneas), además de otras especies herbáceas y arbustivas. Entre las especies cultivables se tiene la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), papa (*Solanum tuberosum*), cebada (*Hordeum vulgare*), papalisa (*Ullucus tuberosus*), haba (*Vicia faba*), avena (*Avena sativa*), oca (*Oxalis tuberosum*) y cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) (Mamani, 2016).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo de investigación se evaluó las variables fenológicas y agronómicas de la quinua, con la adición de diferentes enmiendas orgánicas en el sustrato en Kiphakiphani. La investigación se inició con la siembra el 2 de enero del 2019.

### 5.1. Materiales

#### 5.1.1. Material vegetal

El material vegetal empleado en esta investigación fue la semilla de quinua de la variedad precoz Jacha Grano.

De acuerdo con lo que indica Bonifacio *et al.*, (2003), la variedad de quinua Jacha Grano, presenta las siguientes características morfológicas y fenológicas:

**Tabla 1. Características de la variedad Jacha Grano**

<b>Características de la variedad Jacha Grano (quinua)</b>	
<b>Progenitores</b>	Progenitor materno: Accesoión 1489 Progenitor paterno: Huaranga (3-49)
<b>Hábito de crecimiento</b>	Sencillo
<b>Color de panoja a madurez</b>	Verde amarillento
<b>Días a la emergencia</b>	5 días (Norte y Central)
<b>Días a pajonamiento</b>	45 días
<b>Días a floración</b>	60 días
<b>Días a madurez</b>	145 días (Norte y Central)
<b>Altura de planta</b>	0.9 – 1.2 m (Norte y Central)
<b>Diámetro de panoja</b>	5.5 cm
<b>Longitud de panoja</b>	20.2 cm
<b>Diámetro de tallo (base)</b>	14.2 mm
<b>Resistencia al mildiu</b>	Parcialmente resistente
<b>Tolerancia a heladas</b>	Escape por precocidad
<b>Tolerancia a granizo</b>	Medio
<b>Rendimiento (experim.)</b>	1600 a 2000 kg/ha
<b>Color de grano</b>	Blanco
<b>Tamaño de grano</b>	Grande
<b>Diámetro de grano</b>	2.6 mm
<b>Espesor de grano</b>	1.4 mm
<b>Presencia de saponina</b>	Amargo

Fuente: Bonifacio *et al.*, (2003)



### **5.1.2. Enmiendas orgánicas**

Las enmiendas que se utilizaron en el estudio fueron:

- Biochar
- Zeolita
- Ceniza volcánica
- Compost

Estas enmiendas fueron adquiridas de proveedores locales.

### **5.1.3. Materiales y herramientas de campo y laboratorio**

- Suelo del lugar (200 kg para sustrato base)
- Libreta de campo
- Marcadores
- Tijeras
- Marbetes
- Picota
- Pala
- Bolsas-maceta negras de polietileno con una medida de 15 cm x 20 cm.
- Yutes
- Cinta métrica
- Flexómetro
- Lonas
- HSM50 (medidor de humedad volumétrica)
- Bañadores
- Probetas
- Bolsas de celofan
- Coladores
- Fichas de identificación

### **5.1.4. Material de gabinete**

- Computadora
- Tablero
- Cámara fotográfica
- Material de escritorio

## **5.2. Metodología**

### **5.2.1. Metodología de campo**

La investigación se realizó en ambientes del invernadero Nro. 1 del Centro de Investigación Kiphakiphani dependiente de la Fundación PROINPA.

#### **5.2.1.1. Preparación del sustrato con las enmiendas orgánicas**

Las plantas de quinua fueron establecidas individualmente en bolsas-maceta con dimensiones de 20 cm de largo x 15 cm de ancho.

Primeramente, se procedió con el secado del suelo el cual fue obtenido de los predios de la misma Estación (PROINPA), de este material se pesó una cantidad de 200 kg de para ser distribuido a las 100 macetas, se consideró una cantidad de 2 kg de suelo para cada maceta.

Posteriormente, se pesó las enmiendas considerando una dosis de 4 % (p/p) para todas ellas de esa manera es que se tuvo una cantidad de 80 g para cada una de las enmiendas (ceniza volcánica, biochar, compost y zeolita) y se procedió a mezclar estos 80 g con los 2 kg de suelo para cada maceta.

Finalmente, se llenaron las macetas con el sustrato + enmienda según cada tratamiento, hasta aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de la altura de la maceta.

#### **5.2.1.2. Disposición de las unidades experimentales en el invernadero**

Se destinó un lugar en el invernadero donde se acomodó las macetas, se hizo la debida identificación de los bloques y las unidades experimentales según el croquis planteado.

### **5.2.1.3. Siembra**

La siembra se realizó el 2 de enero del 2019. Se realizó siembra directa en las macetas, poniendo 3 semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad Jacha grano por maceta. En los 3 siguientes días germinaron todas las plantas de quinua.

### **5.2.1.4. Identificación de las muestras (plantas)**

Para realizar la toma de datos de las muestras, se identificaron cinco plantas de forma aleatoria para cada unidad experimental. Se identificaron las muestras seleccionadas mediante los marbetes.

### **5.2.1.5. Labores culturales**

#### **5.2.1.5.1. Riego**

Se procedió con el riego de acuerdo con la necesidad de la planta, antes de cada aplicación de riego, se registró la retención de humedad del suelo.

El riego se aplicó antes de que la planta entre en su Punto de Marchitamiento, regando a cada maceta hasta llegar a una humedad volumétrica del 15 %.

#### **5.2.1.5.2. Raleo**

Considerando que se puso 3 semillas de quinua por maceta, y que el 3 de enero germinaron las plántulas de quinua, el 30 de enero se procedió con el raleo de las plántulas, esto en las macetas que presentaban más de dos plántulas emergidas (ya que se trabajó con 2 plantas de quinua por maceta), esto para evitar competencia por nutrientes, agua y luz entre plantas, descartando las plantas más pequeñas y débiles.

#### **5.2.1.5.3. Deshierbe**

El deshierbe o control de malezas se realizó durante el desarrollo del cultivo de manera manual para que no pueda existir competencia de nutrientes, agua y luz durante el ciclo del cultivo, la primera fue realizada una vez que transcurrió 30 días después de la emergencia (3 de febrero del 2019).

#### **5.2.1.5.4. Aporque**

El aporque se realizó para que el sustrato en las macetas tenga una buena aireación y para que la planta tenga una buena fijación de la planta.

#### **5.2.1.6. Cosecha de la quinua**

La cosecha de quinua se realizó de forma manual utilizando la hoz, realizando el corte en la base del tallo que está descubierto a partir del sustrato de la bolsa- maceta. Esta actividad se realizó entre 7 y 12 días después de que el cultivo llegó a su madurez fisiológica (entre el 3 y 8 de mayo de 2019) que se dio cuando las panojas empezaron a presentar un color verde amarillento.

#### **5.2.1.7. Secado, trillado y venteado de grano**

Una vez que se cosechó la quinua se llevó a un lugar seco y amplio. Se extendió las plantas con sus respectivos marbetes. El secado de la quinua se efectuó extendiendo la quinua sobre lonas para que pierda toda la humedad, sin descuidar la identificación del material por unidades experimentales.

Una vez que las plantas de quinua se secaron, se procedió con el pesado de las plantas secas por unidad experimental, posteriormente y desde el 5 de junio del 2019 se pasó a realizar el trillado de la quinua de manera manual sobre lonas para que de esa manera la inflorescencia y perigonio se empiecen a desprender del grano.

Posteriormente, se realizó el venteado del grano, primeramente, se realizó el tamizado del material trillado, en segundo lugar, se realizó el venteado de forma manual con bañadores pequeños esto para limpiar las impurezas del grano y por último, desde el 31 de julio del 2019 se procedió con el embolsado de los granos por unidad experimental con sus respectivos marbetes.

### **5.2.2. Metodología experimental**

#### **5.2.2.1. Diseño experimental**

Para poder determinar la variabilidad de las diferentes enmiendas se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (Calzada 1982), debido a la variación ambiental en el sitio experimental (invernadero). El trabajo contó con un factor de estudio: adición de enmiendas orgánicas al sustrato, se estableció en el estudio de 5 tratamientos: testigo (To), adición de Ceniza volcánica al sustrato (T1), adición de Biochar al sustrato (T2), adición de Compost al sustrato (T3) y adición de Zeolita al sustrato (T4), en el

caso de los 4 tratamientos que cuentan con una adición de las enmiendas se aplicó una dosis única del 4 % en función de masa (enmienda/sustrato). Fueron constituidos 4 bloques, considerando la variación ambiental como gradiente de control, por lo que finalmente se contó con un total de 20 unidades experimentales, Asimismo se escogió 5 muestras para cada unidad experimental, teniendo así 100 plantas en estudio.

### 5.2.2.2. Modelo estadístico empleado en la investigación

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Una observación cualquiera

$\mu$  = Media poblacional

$\beta_j$  = Efecto del j - ésimo bloque

$\alpha_i$  = Efecto del i - ésimo tratamiento

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

Según Snedecor & Cochran (1980), el modelo estadístico permite evaluar con mayor importancia la dinámica de la retención de la humedad volumétrica en el suelo que presentan las diferentes enmiendas tales como Ceniza volcánica, Biochar, Compost y Zeolita.

### 5.2.2.3. Croquis experimental

El gráfico 2 muestra el croquis experimental de las unidades experimentales, lo cual es la disposición que las macetas tuvieron en el invernadero.

#### Gráfico 2. Croquis Experimental

To = Testigo

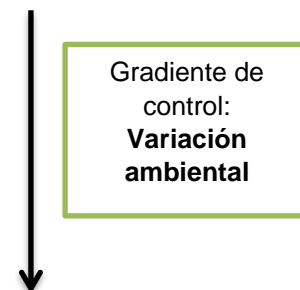
T1 = Ceniza volcánica

T2 = Biochar

T3 = Compost

T4 = Zeolita

BLOQUES	TRATAMIENTOS				
B-I	To	T4	T3	T2	T1
B-II	T2	To	T1	T4	T3
B-III	T4	T1	T2	T3	To
B-IV	T1	T3	T4	To	T2



### **5.2.3. Variables de respuesta**

Las variables de respuesta que se registraron en el presente trabajo de investigación fueron establecidas para conocer el efecto de las enmiendas orgánicas en la retención de humedad del suelo, el crecimiento, el comportamiento fenológico y las características agromorfológicas de las plantas de quinua.

#### **Retención de humedad del suelo**

Se evaluó la capacidad de retención de humedad mediante la medición de la humedad volumétrica del suelo, la cual se realizó con el equipo digital portátil HSM50 (Handheld Digital Moisture Meter) de OMEGA, con el que se obtuvo datos porcentuales de la humedad volumétrica del suelo. Los datos de humedad fueron tomados a una profundidad de 10 cm, a cada una de las muestras predeterminadas (5 por unidad experimental).

La humedad volumétrica se homogeneizó para todas las plantas de quinua al 15 % cuando empezó la etapa de ramificación (4/02/19), desde esta fecha en adelante se regó según la necesidad de cada planta. Para proceder con el riego, se esperaba a que la planta entrara en estrés hídrico y se la regaba antes de que alcance el punto de marchitamiento y que la planta entre en un estrés hídrico por déficit de agua, pero antes de regar se procedía a medir la humedad del suelo de cada maceta (muestra) para posteriormente aplicar agua a la planta hasta que el suelo alcance un 15 % de humedad volumétrica, que era cuando el suelo alcanzaba una Capacidad de Campo, este valor se calculó en el suelo que se empleó en el estudio y en la maceta donde se realizó el mismo con ayuda del HSM50, a diferencia de este valor se puede ver que según Chuquimia (2020) la zona de Choquenaira presenta un valor de 16,94 % de HV a PMP y 21,68 % de HV a CC, se le atribuye esta diferencia a que el presente estudio es realizado en condiciones controladas y con el uso de una maceta.

Para los datos de esta variable de respuesta se realizó la transformación de datos Arco seno o seno inverso, de acuerdo a lo que es señalado por Snedecor & Cochran (1980) este tipo de transformación se utiliza para datos binomiales o datos expresados en porcentajes o proporciones, tiende a homogeneizar las varianzas y a normalizar los

datos, especialmente cuando los valores son menores al 30 % y mayores al 70 % y se lo realizó haciendo uso de la siguiente fórmula antes de introducir los datos en el Análisis de Varianza (ANVA):

$$\text{Dato transformado} = \text{Arc sen} \sqrt{\frac{y}{100}}$$

Dónde: y = dato expresado en porcentaje

### **Curvas de Retención de Humedad (CRH)**

Las muestras de suelo fueron remitidas al laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía (LAFASA) para la realización de este análisis de humedad mediante la Metodología de las Ollas a presión Richards – Mesa de Tensión (SandBox).

### **Altura de planta**

Se midió la altura de planta en cm con la ayuda de una cinta métrica desde la base del tallo.

La medición de alturas de planta se realizó con un intervalo de 10 días, desde la fase de ramificación hasta la fase de madurez fisiológica y por último en la cosecha, estos últimos datos fueron los que se evaluaron mediante un análisis de varianza.

### **Diámetro de tallo**

Se tomó el diámetro del tallo (cm) en el momento que la planta llegó a su madurez fisiológica empleando un calibrador digital.

### **Tamaño de panoja a la madurez:**

#### **- Diámetro de panoja**

Se tomó el diámetro de la panoja (cm) en el momento que la planta llegó a su madurez fisiológica usando un calibrador digital.

## - Longitud de panoja

Se midió el diámetro de la panoja (cm) en el momento que la planta alcanzó su madurez fisiológica, con la ayuda de una cinta métrica.

## Rendimiento de grano

Esta variable se evaluó en base a cada muestra (planta individual), es decir, se obtuvo valores de rendimiento/planta (gramos), se tomó el dato después de haber procedido con el secado, trillado y venteado del grano para que sean valores reales de grano puro, se pesó con la ayuda de una balanza analítica.

## Índice de cosecha

El índice de cosecha se obtiene de la relación del peso de grano limpio (libre de impurezas) sobre el peso de planta base seca, la fórmula se detalla a continuación:

$$IC = \frac{Ps}{Pt}$$

IC = Relación del índice de cosecha

Ps = Peso seco del grano

Pt = Peso total de la planta

Es la relación que existe entre la biomasa cosechada o rendimiento y la biomasa aérea total del cultivo. La eficiencia de las plantas cultivadas en cuanto al rendimiento y la producción puede medirse mediante el empleo de índices de crecimiento, estos indican la eficacia de las plantas para aprovechar los factores ambientales del sitio donde crecen y la forma como las plantas distribuyen sus asimilados (Méndez *et al.*, 2004).

## Peso hectolítrico del grano limpio

El peso hectolítrico se define como el peso de semilla en un volumen conocido, para nuestra investigación se procedió a medirlo utilizando una probeta de 10 ml, se llenó esta probeta con los granos de quinua y se registró el dato en peso de ese volumen de quinua.



### **Unidades Formadoras de Colonias De Hongos (UFC)**

Los análisis microbiológicos de hongos de las muestras de suelo de cada unidad experimental se realizó mediante el conteo de las unidades formadoras de colonias de Hongos (UFC). La determinación de las UFCs se realizó en el laboratorio de la Estación Experimental Kiphakiphani. Primeramente, se tomaron muestras de suelo por tratamientos (3 muestras/tratamiento) y se usó 10 g para cada caja Petri, luego se realizó el medio de cultivo a base de agar papa, añadiendo 1 g de estabilizante, 12 g de agar (utilizado para identificación de enterobacterias), 16 g de glucosa y 0,4 g de cloranfenicol. Luego se añadió este medio de cultivo junto con la dilución del suelo en las cajas de Petri. Finalmente, después de 6 días de cultivo e incubación se procedió con el conteo de UFC de hongos.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Propiedades físicas y químicas del suelo

Las características físicas y químicas provienen del análisis de suelos de cada tratamiento con muestras de los sustratos tomadas al final del experimento.

**Tabla 2. Resultado del análisis físico químico del suelo del T0**

PARÁMETRO	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
Textura	66 % A 20 % L 14 % Y	Clase textural:  Franco Arenoso
pH	7,42	Ligeramente alcalino
CE (mmho/cm)	0,20	Suelo libre de sales
Acidez intercambiable (meq/100 g S)	0,12	Óptimo
Calcio intercambiable (meq/100 g S)	3,05	Bajo
Magnesio intercambiable (meq/100 g S)	0,57	Bajo
Sodio intercambiable (meq/100 g S)	0,67	Muy alto
Potasio intercambiable (meq/100 g S)	0,40	Medio
CIC (meq/100 g S)	4,81	Baja para un suelo FA
PSI (%)	13,93	Ligeramente sódico

**Tabla 3. Resultado del análisis físico químico del suelo del T1**

PARÁMETRO	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
Textura	66 % A 18 % L 16 % Y	Clase textural:  Franco Arenoso
pH	7,31	Neutro
CE (mmho/cm)	0,58	Suelo libre de sales
Acidez intercambiable (meq/100 g S)	0,11	Óptimo
Calcio intercambiable (meq/100 g S)	3,98	Bajo
Magnesio intercambiable (meq/100 g S)	0,64	Bajo
Sodio intercambiable (meq/100 g S)	2,24	Muy alto
Potasio intercambiable (meq/100 g S)	0,35	Medio
CIC (meq/100 g S)	7,33	Normal para un suelo FA
PSI (%)	30,56	Extremadamente sódico

**Tabla 4. Resultado del análisis físico químico del suelo del T2**

PARÁMETRO	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
Textura	70 % A 14 % L 16 % Y	Clase textural:  Franco Arenoso
pH	7,73	Ligeramente alcalino

CE (mmho/cm)	0,32	Suelo libre de sales
Acidez intercambiable (meq/100 g S)	0,24	Óptimo
Calcio intercambiable (meq/100 g S)	4,35	Medio
Magnesio intercambiable (meq/100 g S)	0,83	Bajo
Sodio intercambiable (meq/100 g S)	0,54	Muy alto
Potasio intercambiable (meq/100 g S)	1,55	Alto
CIC (meq/100 g S)	7,51	Normal para un suelo FA
PSI (%)	7,19	Ligeramente sódico

**Tabla 5. Resultado del análisis físico químico del suelo del T3**

PARÁMETRO	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
Textura	68 % A 16 % L 16 % Y	Clase textural:  Franco Arenoso
pH	7,42	Ligeramente alcalino
CE (mmho/cm)	0,20	Suelo libre de sales
Acidez intercambiable (meq/100 g S)	0,23	Óptimo
Calcio intercambiable (meq/100 g S)	4,64	Medio
Magnesio intercambiable (meq/100 g S)	0,88	Bajo
Sodio intercambiable (meq/100 g S)	0,58	Muy alto
Potasio intercambiable (meq/100 g S)	0,50	Óptimo
CIC (meq/100 g S)	6,83	Normal para un suelo FA
PSI (%)	8,49	Ligeramente sódico

**Tabla 6. Resultado del análisis físico químico del suelo del T4**

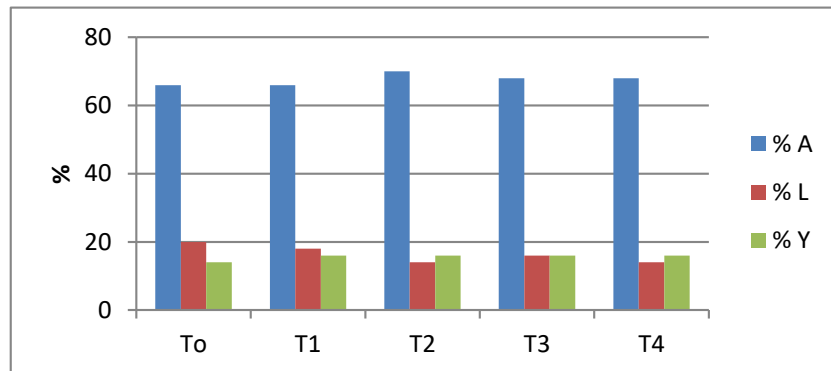
PARÁMETRO	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
Textura	68 % A 14 % L 16 % Y	Clase textural:  Franco Arenoso
pH	7,28	Neutro
CE (mmho/cm)	0,23	Suelo libre de sales
Acidez intercambiable (meq/100 g S)	0,23	Óptimo
Calcio intercambiable (meq/100 g S)	5,48	Medio
Magnesio intercambiable (meq/100 g S)	0,76	Bajo
Sodio intercambiable (meq/100 g S)	0,77	Muy alto
Potasio intercambiable (meq/100 g S)	2,08	Alto
CIC (meq/100 g S)	9,33	Normal para un suelo FA
PSI (%)	8,25	Ligeramente sódico

## 6.1.1. Gráficos comparativos del análisis físico químico de suelos

### 6.1.1.1. Textura

Se determinó la textura en laboratorio mediante el método de Bouyucos.

**Gráfico 3. Proporciones de los componentes de la Textura del sustrato por tratamiento**



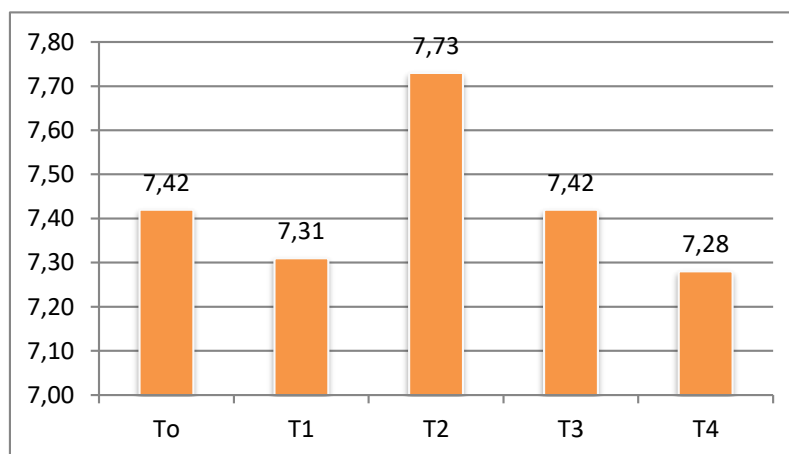
En este gráfico se presenta la variación que hubo en el contenido de Arena, Limo y Arcilla respecto a los tratamientos, como se puede observar, la variación fue muy baja en cuanto a estos porcentajes y la textura fue franco arenoso para todos los tratamientos.

Este resultado de esta variable está dentro de lo deseable ya que Bonifacio *et al.*, (2003) mencionan que entre los suelos aptos para la variedad de la investigación “Jacha grano” están los franco arenosos.

#### 6.1.1.2. pH

Se determinó el pH en agua en relación 1:5 en el laboratorio.

**Gráfico 4. pH del sustrato por tratamiento**

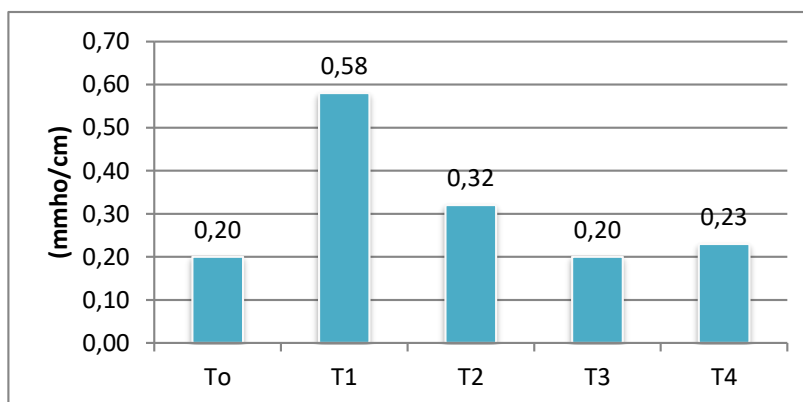


Tomando en cuenta la clasificación de los rangos de pH del suelo que brinda el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se pudo ver que el pH fue neutro para la adición de zeolita (T4) y ceniza volcánica (T1) y ligeramente alcalino para los tratamientos To, T2 y T3 (testigo, biochar y compost), por lo que se puede afirmar que las alteraciones de pH que sufrieron los sustratos por la adición de las enmiendas orgánicas fueron leves, asimismo se ve que el mayor incremento del valor de pH se obtuvo con la adición de biochar al sustrato (T2), en cuanto a esto Videgain *et al.* (2019) afirma que el biochar puede actuar como mejorador de suelos aumentando su fertilidad como consecuencia del aumento de la capacidad de intercambio catiónico de los mismos y del aumento del pH. De igual manera, se observa que respecto al testigo, el pH disminuyó ligeramente cuando se adicionó ceniza volcánica (T1) y zeolita (T4), respecto a esto Córdova-Rodríguez *et al.* (2017) mencionan que la zeolita por tener características anfóteras, tiende a absorber iones de  $\text{Ca}^{+2}$ , y como consecuencia, resultará en una leve disminución del pH, de la misma manera Galarza *et al.*, (2017) indican que la ceniza volcánica presenta reacción medianamente ácida a neutra, aunque mencionan finalmente que no se espera que produzcan efectos en la reacción del mismo, pero en este caso fue mínimo, además de positivo, ya que el pH llegó a neutro en este sustrato.

### 6.1.1.3. Conductividad Eléctrica (CE)

Se determinó la Conductividad Eléctrica en una dilución 1:5 en el laboratorio mediante el método de Potenciometría.

**Gráfico 5. Conductividad Eléctrica del sustrato por tratamiento**

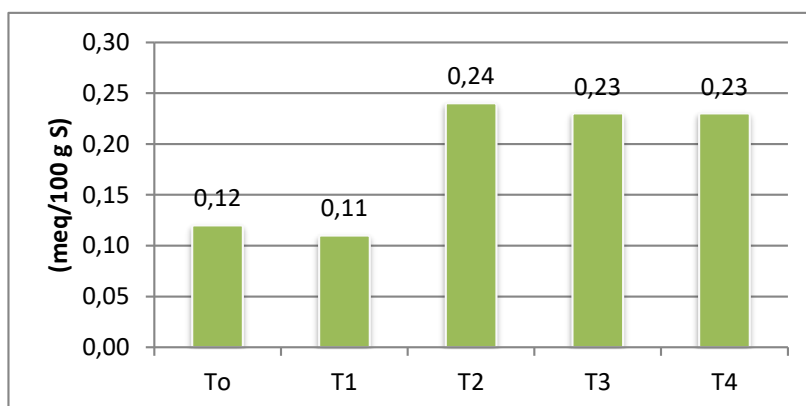


De acuerdo a los datos que este gráfico presenta se pudo observar que el tratamiento T1 (adición de ceniza volcánica) obtuvo el valor más alto de 0,58 mmho/cm en cuanto a conductividad eléctrica, este leve incremento no produjo un cambio de categoría en el suelo (suelo no salino), por lo que se puede aseverar que estos resultados concuerdan con lo que afirman Galarza *et al.*, (2017) que la conductividad eléctrica de la suspensión de las cenizas en agua es baja, de acuerdo a la escala utilizada para la calificación de suelos en relación al contenido de sales y es por esto que se espera que al incorporarse las mismas al suelo no produzcan salinización. Finalmente se pudo determinar que la adición de enmiendas no tuvo un gran efecto en la conductividad eléctrica ya que según los resultados del análisis físico químico del suelo, todos los tratamientos presentaron valores menores a 1 y según la Clasificación de los suelos con relación a su CE y el efecto sobre los cultivos que brindan Castellanos *et al.*, (2000) todos los sustratos de la investigación son suelos libres de sales en los cuales no existe restricciones para la producción de ningún cultivo, asimismo se puede mencionar que son suelos no salinos.

#### 6.2.1.4. Acidez intercambiable

Se determinó la Acidez intercambiable en laboratorio mediante el método de Volumetría.

**Gráfico 6. Acidez intercambiable del sustrato por tratamiento**



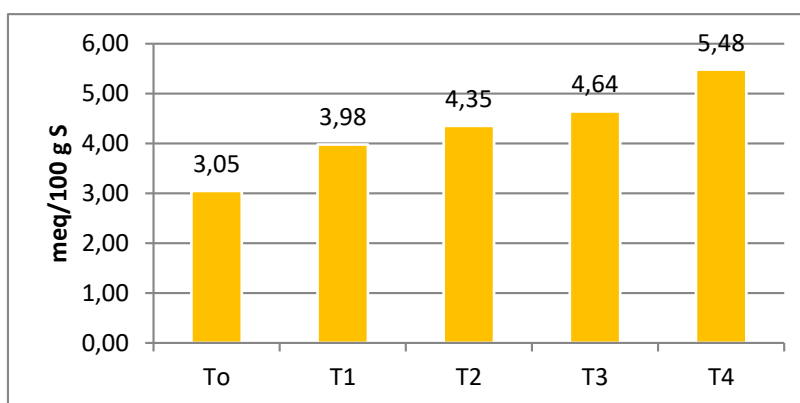
Según a lo que se observa en este gráfico, los valores de acidez intercambiable más bajos se presentaron en los tratamientos testigo y adición de ceniza volcánica (To y T1) pero en general se observó que las enmiendas no tuvieron un efecto considerable

sobre esta característica del suelo, ya que corroborando los resultados del análisis físico químico de suelos de todos los tratamientos, estos obtuvieron una calificación de suelo “óptimo” porque presentaron valores menores a 0,3 meq / 100 g S de acidez intercambiable.

#### 6.2.1.5. Calcio intercambiable

Se determinó el Calcio intercambiable en el laboratorio mediante el método de Espectrofotómetro de absorción atómica (Acetato de amonio 1N).

**Gráfico 7. Calcio intercambiable del sustrato por tratamiento**

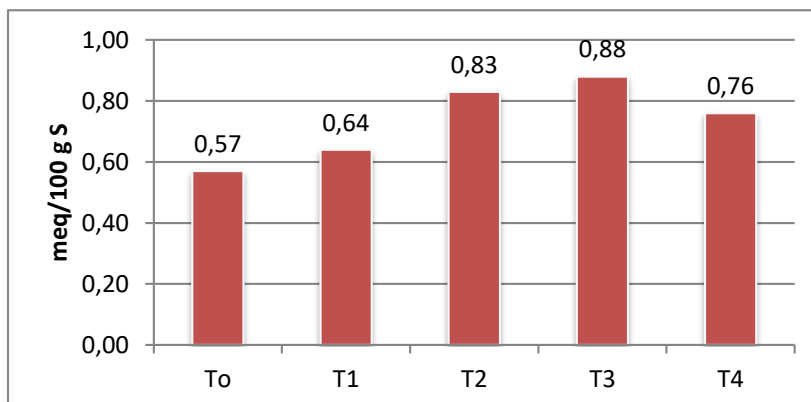


En el caso de los resultados que se presentaron de calcio intercambiable se observó que los tratamientos testigo y adición de ceniza volcánica (To y T1) obtuvieron los menores resultados y un “contenido bajo” de este ion, sin embargo, los tratamientos que adicionan biochar, compost y zeolita (T2, T3 y T4) obtuvieron resultados más elevados que hicieron que entren en la categoría de un “contenido medio” de calcio intercambiable. En cuanto a compost, Julca-Otiniano *et al.* (2006) encontró que los suelos fertilizados con compost tienen un mayor contenido de C, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn. Para el caso del biochar, Liu Xu (2015) afirma que este presenta características similares al compost aunque es más estable. Por último, se encontró que según Chica *et al.*, (2006) la zeolita es caracterizada por la habilidad de intercambiar cationes como  $Ca^{+}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^{+}$  y  $NH_4^{+}$ , así como diversos compuestos de fosfatos, amonio y componentes de la materia orgánica.

### 6.2.1.6. Magnesio intercambiable

Se determinó el Magnesio intercambiable en el laboratorio mediante el método de Espectrofotómetro de absorción atómica (Acetato de amonio 1N).

**Gráfico 8. Magnesio intercambiable del sustrato por tratamiento**

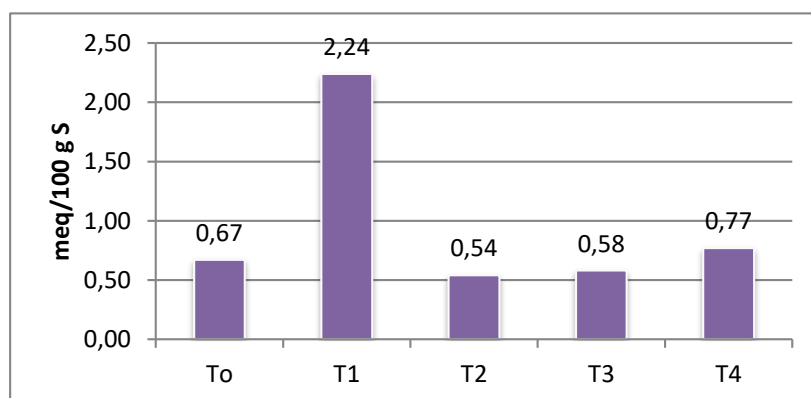


Según los datos obtenidos en este gráfico se pudo observar que entre los cinco tratamientos, los valores de Magnesio intercambiable no tuvieron una gran diferencia e incluso por los resultados del análisis físico químico de suelos entraron a la misma categoría de “bajo contenido” de este ion.

### 6.1.1.7. Sodio intercambiable

Se determinó el Sodio intercambiable en el laboratorio mediante el método de Espectrofotómetro de absorción atómica (Acetato de amonio 1N).

**Gráfico 9. Sodio intercambiable del sustrato por tratamiento**



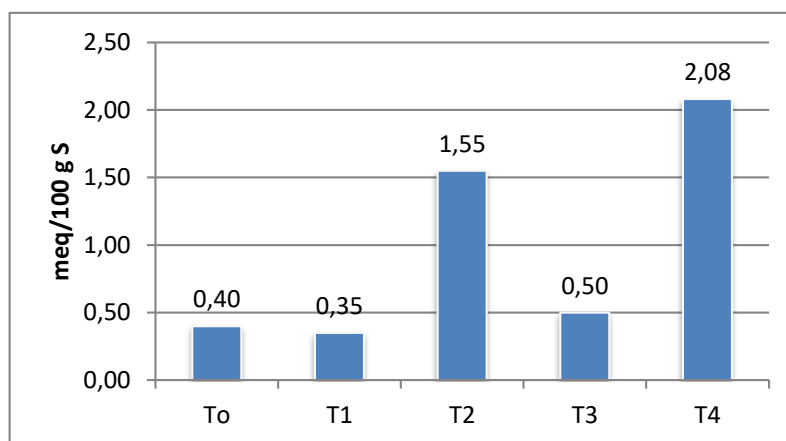


Para el caso del contenido de sodio intercambiable, se pudo observar que el T1 (adición de ceniza volcánica) obtuvo un resultado muy elevado en comparación de los demás tratamientos, pero en general, considerando el análisis físico químico de suelos, se obtuvo una categoría de “contenido muy alto de sodio intercambiable” para todos los tratamientos. Observando el elevado valor del tratamiento testigo, y sabiendo que según varios autores el altiplano boliviano presenta problemas de salinidad del suelo y alto contenido de sodio, es algo que explica que el To y los demás presenten un alto contenido de este catión, sin embargo, hubo un incremento bastante considerable al aplicar la ceniza volcánica ya que llegó a un valor de 2,24 meq/100 g S de sodio intercambiable, se puede explicar este fenómeno con lo que indican Guevara *et al.*, (2015), que la ceniza volcánica hidrófoba constituye el principal factor de interferencia durante la eluviación y lixiviación de las sales, sobre todo cuando se altera el nivel del manto freático.

#### 6.1.1.8. Potasio intercambiable

Se determinó el Potasio intercambiable en el laboratorio mediante el método de Espectrofotómetro de absorción atómica (Acetato de amonio 1N).

**Gráfico 10. Potasio intercambiable del sustrato por tratamiento**



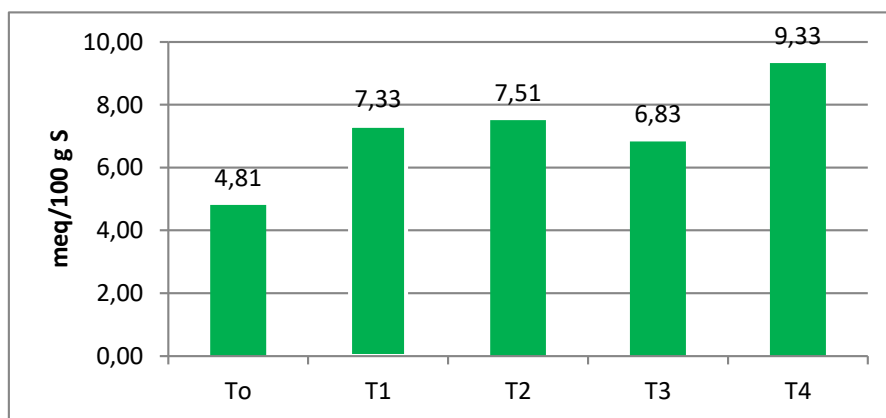
Para el caso del potasio, se puede observar mediante el gráfico y el análisis físico químico del suelo que en los tratamientos To y T1 (testigo y adición de ceniza volcánica) se obtuvieron los valores más bajos de este parámetro lo que les hizo

obtener un contenido “medio” de este ion, para el T3 (adición de compost) se adquirió un resultado medio respecto a los otros tratamientos lo que le hizo obtener una categorización “óptima” de potasio intercambiable, respecto a este resultado Navia *et al.* (2013) indican que el compost mejora las propiedades químicas y el contenido de macronutrientes como: N, P, K. En el caso de los tratamientos T2 y T4 (adición de biochar y zeolita) se obtuvieron los resultados más elevados de este parámetro por lo que se los puede calificar en la categoría de “alto” contenido de potasio intercambiable. Para el caso de la zeolita, se encontró que, según Chica *et al.* (2006) esta arcilla es caracterizada por la habilidad de intercambiar cationes como  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ , lo que explicaría su alto contenido. En cuanto al biochar, se puede observar un resultado parecido en la investigación de Trujillo *et al.* (2019) donde se evalúa la producción y caracterización química de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas, ya que encontraron que el contenido de potasio en el biochar de pollinaza y en el de la mezcla con gallinaza es el doble al de la materia prima. El resultado más conveniente para este parámetro fue el uso de compost (T3).

#### 6.1.1.9. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Se determinó la Capacidad de Intercambio Catiónico en el laboratorio mediante el método de Volumetría, espectrofotómetro de emisión y absorción atómica (Acetato de amonio 1N).

**Gráfico 11. Capacidad de Intercambio Catiónico del sustrato por tratamiento**



Para el caso de este parámetro evaluado en este gráfico y en el análisis de suelos, se observa que el testigo (To) obtuvo el menor valor en cuanto a CIC (4,81 meq/100 g S) y su categoría obtenida fue “baja para un suelo franco arenoso”. Todos los demás sustratos de los demás tratamientos obtuvieron una calificación “normal para un suelo franco arenoso”, entre ellos el mayor valor obtenido fue para la adición de zeolita (T4) con un valor de 9,33 meq/100 g S, lo que es razonable ya que es un tipo de arcilla y de acuerdo con lo que menciona Soca & Daza-Torres (2016) la zeolita presenta una CIC alta de 120 a 200 cmol kg<sup>-1</sup>. Para el caso de los otros tratamientos también hubo un incremento de la CIC, para el caso de la ceniza volcánica

En el caso del biochar, como indican Videgain *et al.* (2019) puede actuar como mejorante de suelos aumentando su fertilidad como consecuencia del aumento de la capacidad de intercambio catiónico.

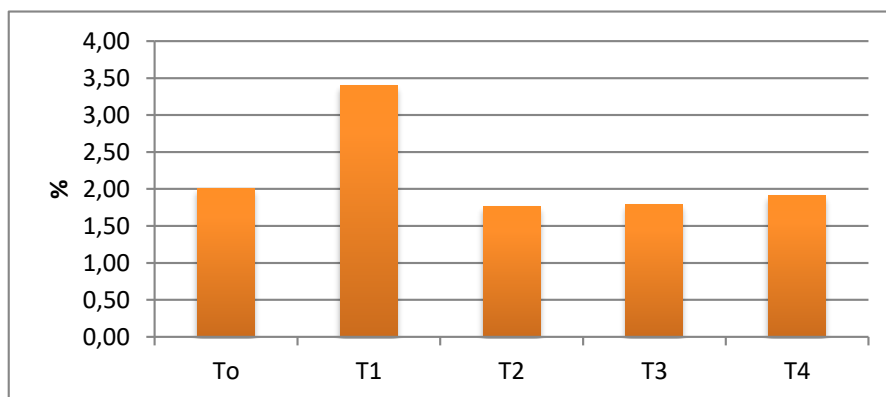
#### 6.1.1.10. Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

Se calculó este valor mediante el RAS o alta relación de Absorción de Sodio, las fórmulas se presentan a continuación:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

$$PSI = \frac{100 (0.0126 + 0.01475 RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 RAS)}$$

**Gráfico 12. Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del sustrato por tratamiento**



Los resultados presentados el gráfico muestran que los tratamientos adición de Biochar, Compost y Zeolita al sustrato (T2, T3 y T4) obtuvieron los valores de PSI más bajos lo que permitió categorizarlos como suelos “no sódicos”, y aunque con la adición de ceniza volcánica (T1) se obtuvo el mayor valor de PSI igualmente está dentro de suelos “no sódicos”, de la misma manera se pudo ver que hubo una disminución ligera del PSI respecto al testigo adicionando los T2, T3 y T4.

## 6.2. Humedad del Suelo

### 6.2.1. Capacidad de retención de humedad volumétrica del suelo

Ya que se obtuvo estos datos en valores de porcentaje, se procedió con la transformación de datos que se mencionó anteriormente antes de realizar el correspondiente análisis de varianza.

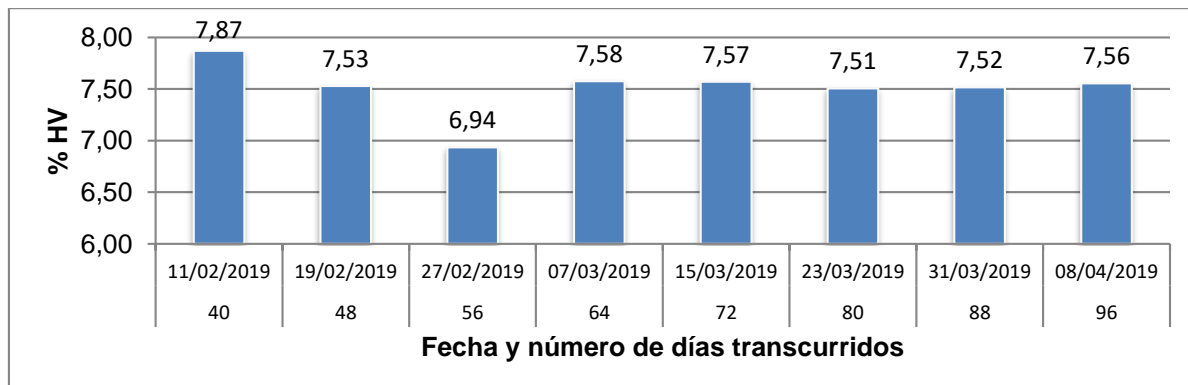
Se tomó estos datos de humedad con el medidor de humedad volumétrica HSM50 cuando la planta necesitaba riego, antes de que la planta de quinua llegue a su punto de marchitamiento.

#### 6.2.1.1. Humedad volumétrica retenida del suelo por tratamiento

##### 6.2.1.1.1. Humedad volumétrica retenida del suelo To

Se calculó los promedios del porcentaje de humedad volumétrica retenida del sustrato del tratamiento To, para todas las fechas que se aplicó riego, se tomaba estos datos antes de regar la planta.

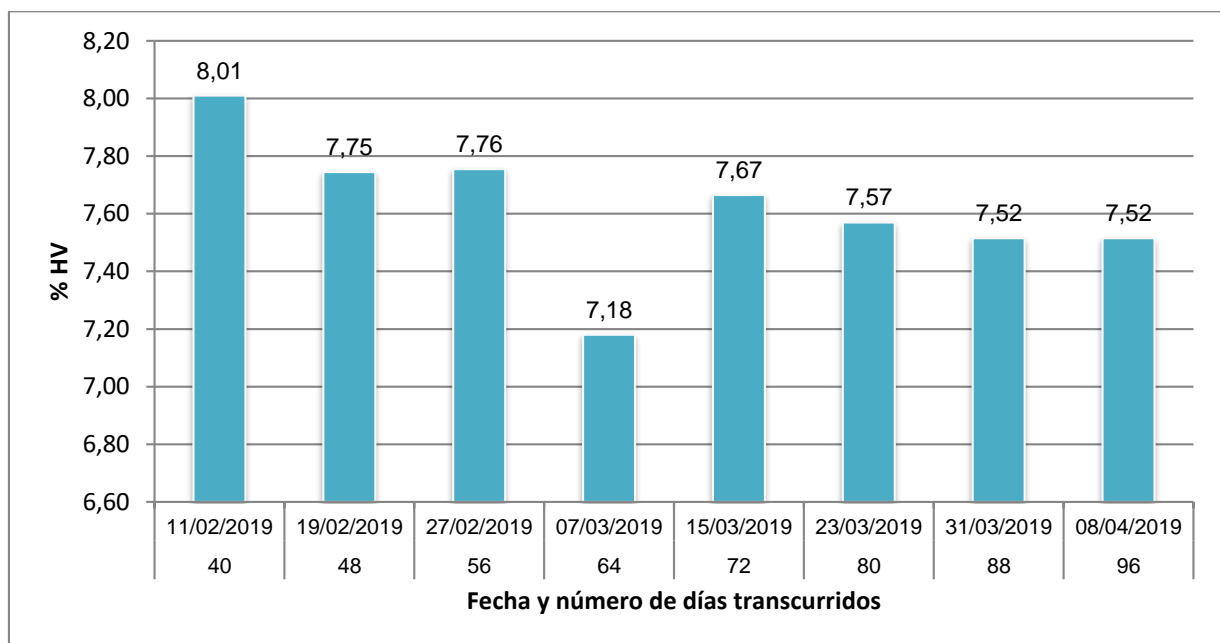
**Gráfico 13. Humedad volumétrica retenida del suelo para el To**



Este gráfico muestra el comportamiento de la retención de humedad del sustrato durante el ciclo fenológico de las plantas de quinua del tratamiento testigo (To), se observa un descenso significativo de la retención de humedad en una de las mediciones, la cual fue realizada después de 56 días de la siembra, lo que coincide con la etapa de panojamiento, lo que significa que en esta etapa la planta requiere de bastante agua. Asimismo, se puede indicar que en promedio se regaba el cultivo cada 8 días y es el tiempo en que la planta tardaba en llegar a un estado de estrés por déficit hídrico, en síntesis, para el To cada 8 días la planta llegaba a retener un promedio de 7,51 % de humedad volumétrica.

#### 6.2.1.1.2. Humedad volumétrica retenida del suelo T1

**Gráfico 14. Humedad volumétrica retenida del suelo para el T1**

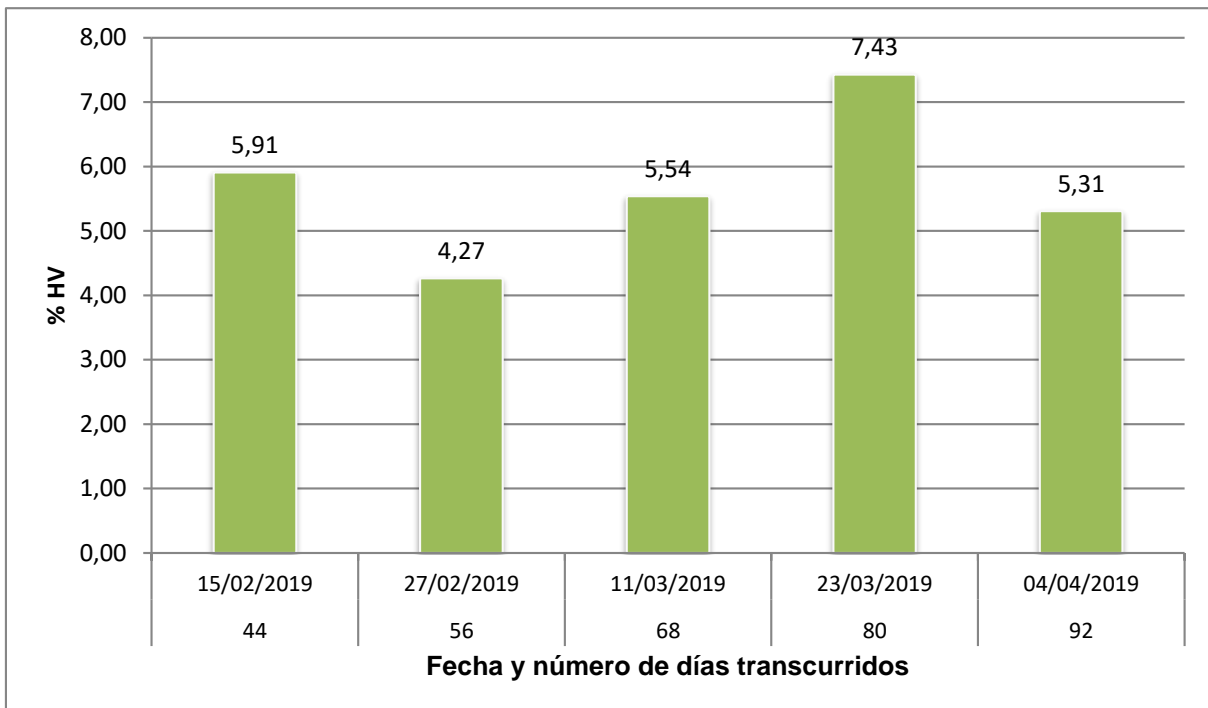


Este gráfico muestra el comportamiento de la retención de humedad del sustrato durante todo el ciclo de las plantas en estudio del tratamiento con adición de ceniza volcánica (T1), se observa el más significativo descenso de la retención de humedad a los 64 días después de la siembra, que coincidiría con la etapa de floración, lo que explica esta disminución de la humedad es que, en esta etapa, la planta requiere una gran cantidad de agua. De la misma manera, se puede aseverar que en promedio se regaba el cultivo cada 8 días y a la vez este es el tiempo que la planta tardaba en llegar

a un estado de estrés por déficit hídrico, entonces, para el T1 cada 8 días la planta llegaba a retener un promedio de 7,62 % de humedad volumétrica.

### 6.2.1.1.3. Humedad volumétrica retenida del suelo T2

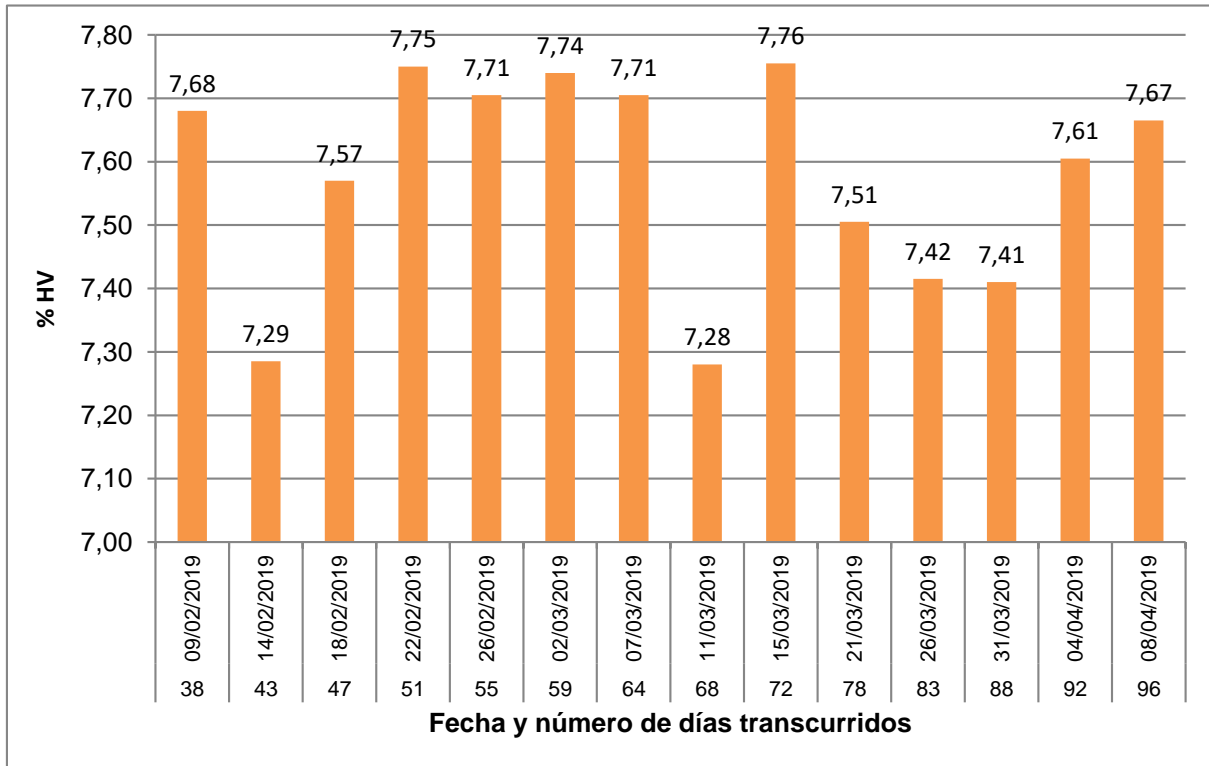
**Gráfico 15. Humedad volumétrica retenida del Suelo para el T2**



Este gráfico muestra el comportamiento de la retención de humedad del sustrato durante el ciclo fenológico de las plantas de quinua del tratamiento con adición de biochar (T2), se observa un descenso significativo de la retención de humedad en una de las mediciones, la cual fue realizada después de 56 días de la siembra, lo que coincide con la etapa de floración, lo que significa que en esta etapa la planta requiere de bastante agua. Asimismo, se puede indicar que en promedio se regaba el cultivo cada 8 días y es el tiempo en que la planta tardaba en llegar a un estado de estrés por déficit hídrico, en síntesis, para el T2 cada 12 días la planta llegaba a retener un promedio de 5,69 % de humedad volumétrica.

#### 6.2.1.1.4. Humedad volumétrica retenida del suelo T3

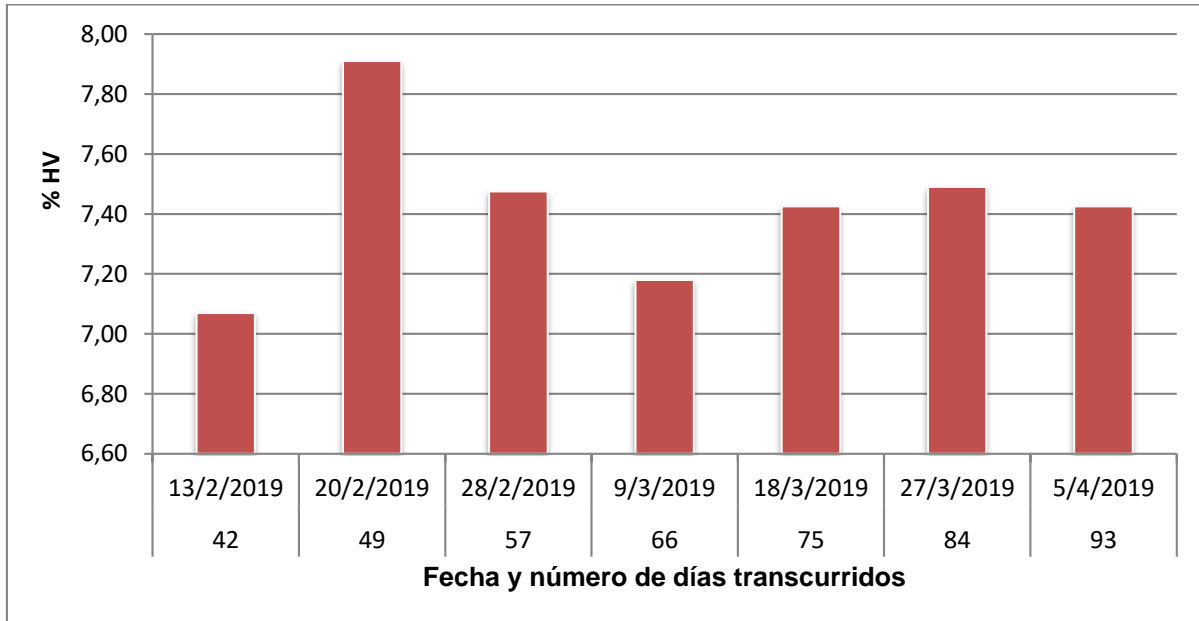
Gráfico 16. Humedad volumétrica retenida del Suelo para el T3



Este gráfico muestra el comportamiento de la retención de humedad del sustrato durante todo el ciclo de las plantas en estudio del tratamiento con adición de compost (T3), se observa el más significativo descenso de la retención de humedad a los 43 y 68 días después de la siembra, el primer descenso coincide con la etapa de panojamiento y el segundo con la de floración, lo que explica esta disminución de la humedad es que, en estas etapas, la planta demanda una mayor cantidad de agua. De la misma manera, se puede aseverar que en promedio se regaba el cultivo cada 5 días y a la vez este es el tiempo que la planta tardaba en llegar a un estado de estrés por déficit hídrico, entonces, para el T3 cada 5 días la planta llegaba a retener un promedio de 7,58 % de humedad volumétrica.

### 6.2.1.1.5. Humedad volumétrica retenida del suelo T4

Gráfico 17. Humedad volumétrica retenida del suelo para el T4



Este gráfico muestra el comportamiento de la retención de humedad del sustrato durante el ciclo fenológico de las plantas de quinua del tratamiento con adición de zeolita (T4), se observa un descenso significativo de la retención de humedad en dos momentos ocurridos después de 42 y 66 días de la siembra, el primer descenso coincide con la etapa de ramificación y el segundo con la de floración, lo que significa que en esta etapa la planta requirió de más agua que en los otros instantes. Asimismo, se puede indicar que en promedio se regaba el cultivo cada 9 días y es el tiempo en que la planta tardaba en llegar a un estado de estrés por déficit hídrico, en síntesis, para el T4 cada 9 días la planta llegaba a retener un promedio de 7,43 % de humedad volumétrica.

### 6.2.1.2. Humedad volumétrica retenida del suelo por mes

#### 6.2.1.2.1. Humedad volumétrica retenida en el suelo para Febrero (29-57 días después de la siembra)

Los datos que se consideraron para realizar este análisis de varianza fueron los que se tomaron de retención de humedad volumétrica en todas las unidades



experimentales en el mes de febrero, cuando el cultivo se encontraba entre las fases de hojas verdaderas y ramificación.

**Tabla 7. Análisis de varianza para humedad volumétrica retenida en el mes de febrero**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
<b>Bloques</b>	0,25	3	0,08	0,78	0,5272 <b>NS</b>
<b>Tratamientos</b>	28,61	4	7,15	68,32	<0,0001 *
<b>Error</b>	1,26	12	0,10		
<b>Total</b>	30,11	19			

**CV = 2,10 %**

CV = Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo

En este análisis de varianza se observa que, en cuanto a bloques, se obtuvo un valor no significativo, lo que se traduce en que la variación ambiental no tuvo ningún efecto en la retención de humedad del suelo, es decir, la retención de humedad fue la misma estadísticamente en todos los bloques.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 2,10 %, este valor permite aseverar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Tabla 8. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para humedad volumétrica retenida en febrero.**

Tratamientos	Medias	N	E.E.	Grupos
<b>T2 = Biochar</b>	5,09	4	0,16	A
<b>To = Testigo</b>	7,45	4	0,16	B
<b>T4 = Zeolita</b>	7,49	4	0,16	B
<b>T3 = Compost</b>	7,60	4	0,16	B
<b>T1 = Ceniza volcánica</b>	7,84	4	0,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Los resultados que se tienen en esta prueba de medias de Duncan permiten aseverar que estadísticamente, el tratamiento T2 (biochar) fue diferente a todos los demás, ya que este obtuvo el menor valor de retención de humedad volumétrica del suelo (5,09 %) para el mes de febrero (29-57 días después de la siembra), en contraste, los tratamientos To, T4, T3 y T1 (testigo y la adición de las otras enmiendas) muestran resultados estadísticamente iguales, que a la vez presentaron el mayor valor, en promedio la retención de humedad volumétrica de los sustratos de estos tratamientos fue de 7,60 %.

### 6.2.1.2.2. Humedad volumétrica retenida en el suelo para marzo

**Tabla 9. Análisis de varianza para humedad volumétrica retenida en marzo (58-89 días después de la siembra)**

Los datos que se usaron para realizar este análisis de varianza fueron los tomados respecto a la retención de humedad volumétrica en todas las unidades experimentales en el mes de marzo, cuando el cultivo se encontraba entre las fases de floración y pajonamiento.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
<b>Bloques</b>	0,15	3	0,05	0,72	0,5566 <b>NS</b>
<b>Tratamientos</b>	4,17	4	1,04	14,70	0,0001 *
<b>Error</b>	0,85	12	0,07		
<b>Total</b>	5,18	19			

**CV = 1,70 %**

*CV=Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo*

En este análisis de varianza se observó que, respecto al factor de variabilidad de los bloques, se obtuvo un valor no significativo, lo que se traduce en que la variación ambiental no influyó directamente en la retención de humedad del suelo, es decir, la retención de humedad del suelo será igual estadísticamente en todos los bloques.

Para el caso de tratamientos se puede dar a conocer que la adición de diferentes enmiendas influyó significativamente sobre la retención de humedad volumétrica del suelo en el mes de marzo (58-89 días después de la siembra), por lo que se puede señalar que, en diferentes sustratos con enmiendas orgánicas, la retención de humedad será estadísticamente diferente.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 1,70 %, este pequeño valor permite señalar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Tabla 10. Prueba de Medias Duncan al 5 % de significancia para humedad volumétrica retenida en marzo.**

Tratamientos	Medias	N	E.E.	Grupos
<b>T2 = Biochar</b>	6,49	4	0,13	A
<b>T4 = Zeolita</b>	7,37	4	0,13	B
<b>T1 = Ceniza volcánica</b>	7,48	4	0,13	B
<b>To = Testigo</b>	7,54	4	0,13	B
<b>T3 = Compost</b>	7,54	4	0,13	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

Gracias a los resultados obtenidos en esta Prueba de Medias Duncan, se puede señalar que, el tratamiento T2 (biochar) presentó un resultado estadísticamente diferente a todos los demás, este fue el menor valor de retención de humedad volumétrica del suelo (6,49 %) en el mes de marzo, esto probablemente debido a que el sustrato adquirió mayor temperatura debido al color oscuro que pudo haber influido en la evapotranspiración. Asimismo, los tratamientos T4, T1, To y T3 (testigo y la adición de las otras enmiendas) presentan resultados estadísticamente iguales, siendo estos los más altos, en promedio, la retención de humedad de los sustratos de estos tratamientos en el mes de marzo fue de 7,48 %.

### 6.2.1.2.3. Humedad volumétrica retenida en el suelo para el mes de Abril (90-120 días después de la siembra)

Los datos que se consideraron para realizar este análisis de varianza fueron los que se tomaron de retención de humedad volumétrica en todas las unidades experimentales en el mes de abril, cuando el cultivo se encontraba entre las fases de grano lechoso, grano pastoso y madurez fisiológica.

**Tabla 11. Análisis de varianza para humedad volumétrica retenida en el suelo para el mes de abril.**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
<b>Bloques</b>	1,83	3	0,61	1,35	0,3037 <b>NS</b>
<b>Tratamientos</b>	22,94	4	5,73	12,70	0,0003 *
<b>Error</b>	5,42	12	0,45		
<b>Total</b>	30,19	19			

**CV = 4,36 %**

*CV = Coeficiente de Variabilidad; \* = Significativo; NS = No Significativo*

Con los resultados de este Análisis de Varianza, se observa que la diferencia entre los bloques no es significativa, por lo que se puede afirmar que la diferencia que se tiene por la variación ambiental no influyó sobre la retención de humedad del suelo, asimismo, con este resultado se puede afirmar que en el modelo experimental se ha perdido precisión.

Para el caso de tratamientos se obtuvo un resultado significativo, con este resultado se puede afirmar que el uso de diferentes enmiendas orgánicas, influyeron directamente sobre la retención de humedad del suelo para el mes de abril (90-120

días después de la siembra), por lo que se puede concluir que adicionando diferentes enmiendas orgánicas, la retención de la humedad volumétrica será estadísticamente diferente.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 4,36 %, este valor permite aseverar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Tabla 12. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para humedad volumétrica retenida en el suelo en el mes de abril**

Tratamientos	Medias	N	E.E.	Grupos
T2 = Biochar	5,31	4	0,34	A
T4 = Zeolita	7,43	4	0,34	B
T1 = Ceniza volcánica	7,52	4	0,34	B
To = Testigo	7,56	4	0,34	B
T3 = Compost	7,67	4	0,34	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

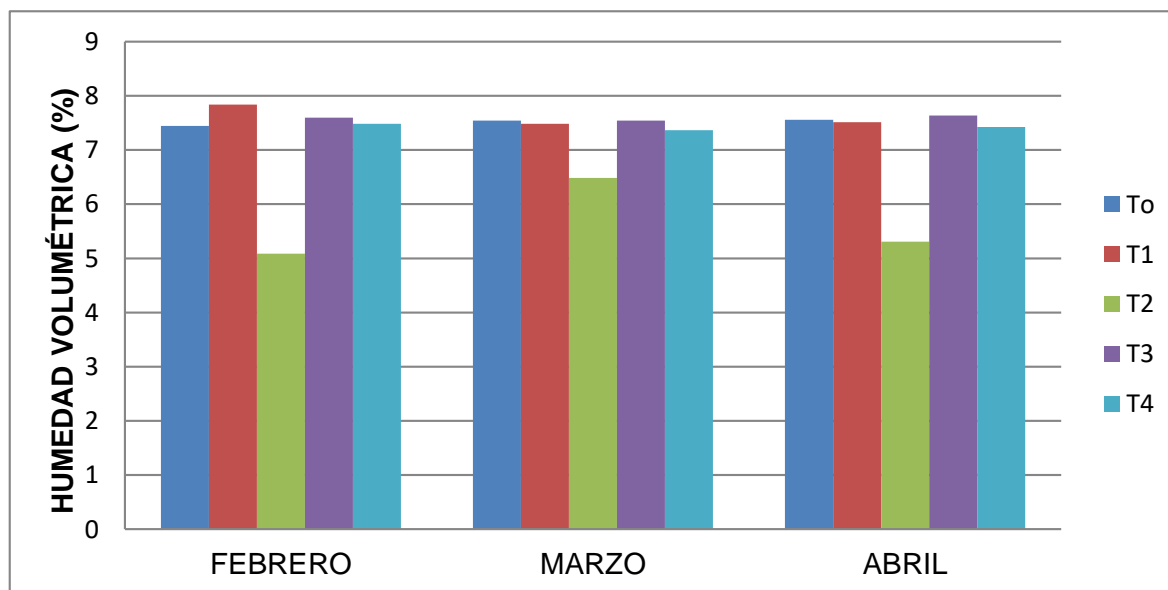
Los resultados que presentan la prueba de medias de Duncan en la tabla 12 permiten aseverar que estadísticamente, el tratamiento T2 (biochar) fue diferente a todos los demás ya que se obtuvo el menor valor de retención de humedad volumétrica del suelo (5,31 %) en todo el tiempo transcurrido del experimento, a diferencia de esto, los tratamientos T4, T1, To y T3 (testigo y la adición de las otras enmiendas) son estadísticamente iguales y obtuvieron el mayor valor, en promedio la retención de la humedad de los sustratos de estos tratamientos culminaron con un 7,54 %, finalmente se puede aseverar que en estos cuatro tratamientos se pudo obtener los mayores valores de capacidad de retención de humedad del suelo, por lo que para recomendar algún tratamiento en específico, se tendría que considerar otros criterios como la accesibilidad y los costos de las enmiendas.

Este resultado se repitió para todos los meses del estudio, una razón para que no se haya observado un gran efecto en el corto plazo en la capacidad de retención de humedad volumétrica en la aplicación de ceniza orgánica, compost, zeolita y, sobre todo biochar (T1, T3, T4 y T2) podría ser que se escogió una dosis baja de las enmiendas orgánicas (4 % p/p) insuficiente como para generar un aumento significativo en la retención de agua, por lo que sería ideal probar dosis más altas de las enmiendas en otra investigación, otro factor que explicaría que la aplicación del

biochar produjo un descenso en cuanto a la retención de humedad podría ser que las plantas de este tratamiento se las regó con menor frecuencia (cada 12 días en promedio) ya que las plantas de este tratamiento tardaban más tiempo en llegar a un estado de marchitamiento y asimismo se tuvo una media que las plantas con la adición de biochar sólo recibieron una cantidad de 6 riegos en total (el menor valor de todos los tratamientos). En contraste el estudio de Paco (2012) obtuvo resultados favorables en cuanto a retención de humedad para los tratamientos con adición de biochar como enmienda, reporta que los tratamientos con biochar procedente de pirólisis lenta (a excepción del lodo) y rápida reportan los valores más altos de retención de humedad. De ellos, los formados a partir de astillas de chopo presentan valores mayores, y también los de pirólisis rápida frente a la lenta.

Algo similar sucedió en el estudio de la tesis de licenciatura de Esprella (2011), en el cual se tomó los datos de humedad volumétrica a 10 cm de profundidad del suelo en un cultivo de quinua al aire libre probando 3 niveles de fertilización de abono a base de estiércol de bovino, se puede ver que los tratamientos con mayor cantidad de materia orgánica conserva mejor la humedad ya que en el lugar donde se aplicó el abono cumple la función de esponja por un determinado periodo.

**Gráfico 18. Humedad volumétrica retenida del suelo por mes y tratamiento**

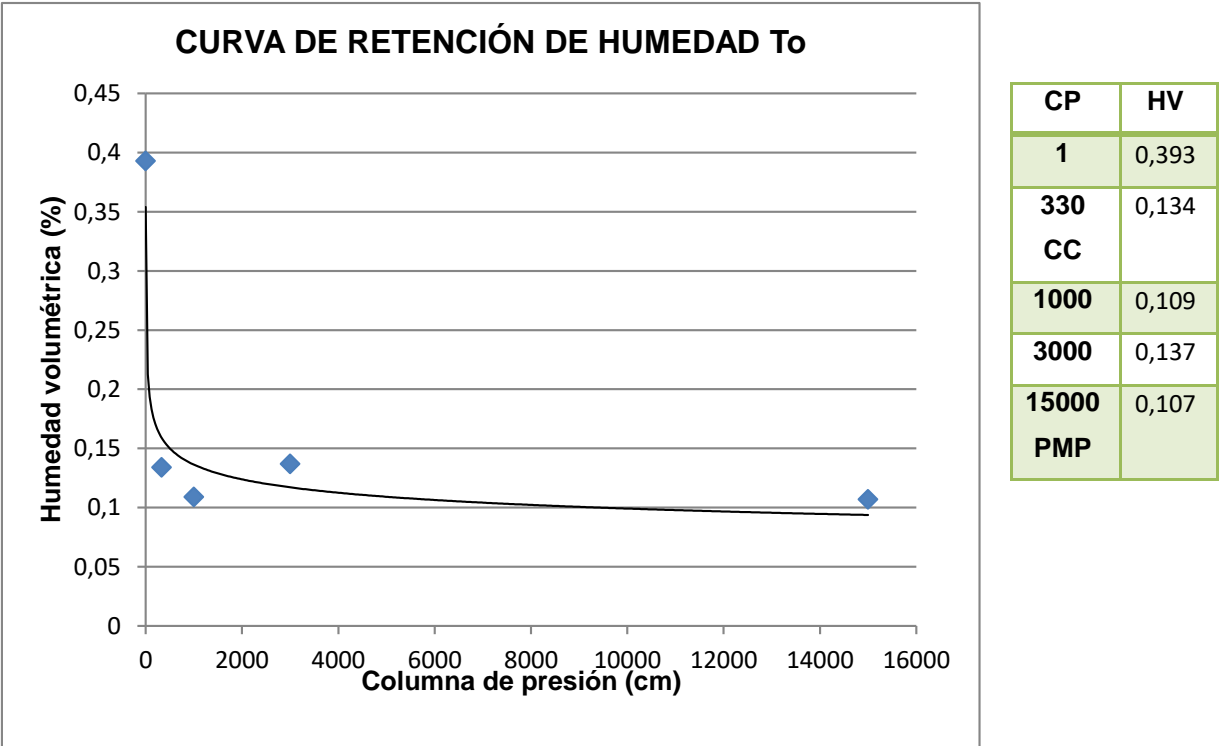


Con este gráfico se puede observar el comportamiento mensual de la retención de humedad volumétrica del suelo a través de los meses que se procedió con el riego del cultivo, se tomaba los datos antes de regar las plantas hasta que estas lleguen a un 15 % de humedad, se observa que el contenido de humedad se mantuvo a menos de la mitad respecto a este valor inicial en todos los tratamientos, asimismo, se tuvo una humedad volumétrica más baja en el T2 (adición de biochar al sustrato) por lo que se puede afirmar que este tratamiento es el que retuvo menos agua, sobre todo en los meses de febrero y abril en los cuales van transcurriendo las fases de hojas verdaderas y ramificación y de grano lechoso, pastoso y madurez fisiológica. Por otro lado, en los otros 4 tratamientos no se observó una variación notable en resultados de humedad volumétrica a lo largo de los meses.

**6.2.2. Curvas de Retención de Humedad (CRH)**

**6.2.2.1. Curva de Retención de Humedad (CRH) para To**

**Gráfico 19. Curva de Retención de Humedad para To**

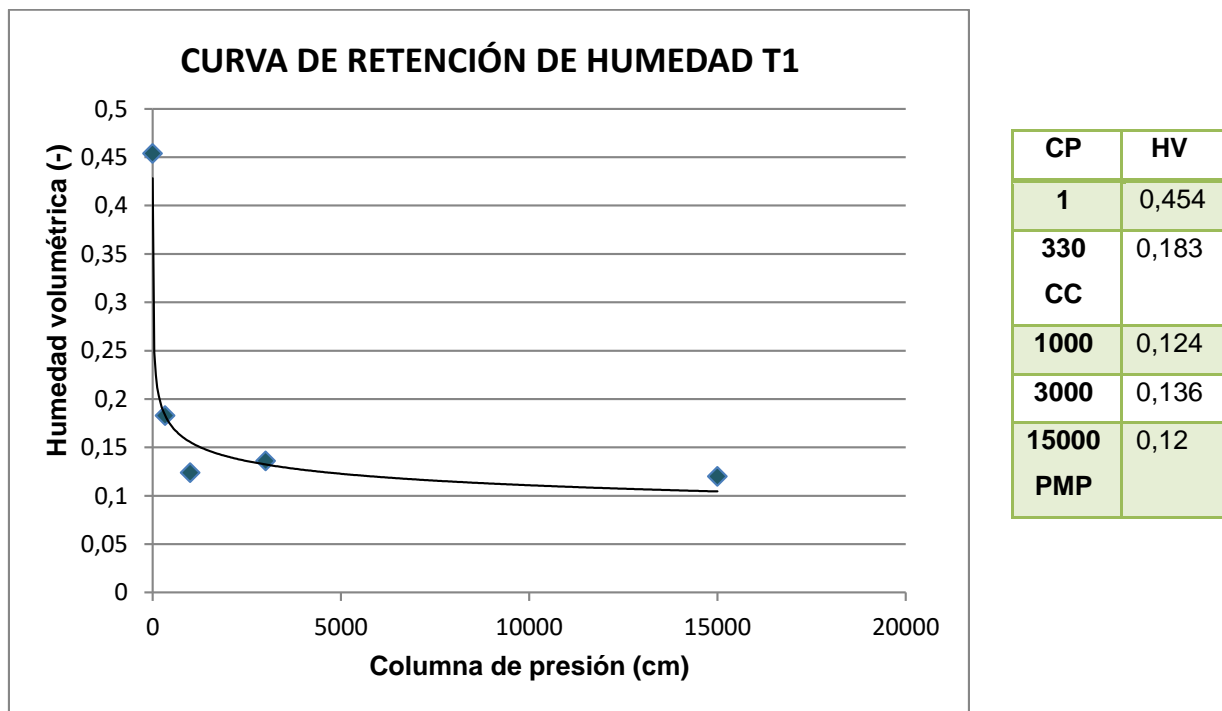


Para esta gráfica se observa un comportamiento normal para un suelo con textura gruesa como lo es el del estudio, franco arenoso.

Se observa que el momento de la zona de saturación es bastante corta y es donde empieza en la capacidad de Campo (CC), luego esta curva se convierte en una línea más regular en la zona de desaturación de agua y por último, la zona de humedad residual disminuye ligeramente para finalmente mostrarnos el valor del PMP.

### 6.2.2.2. Curva de Retención de Humedad (CRH) para T1

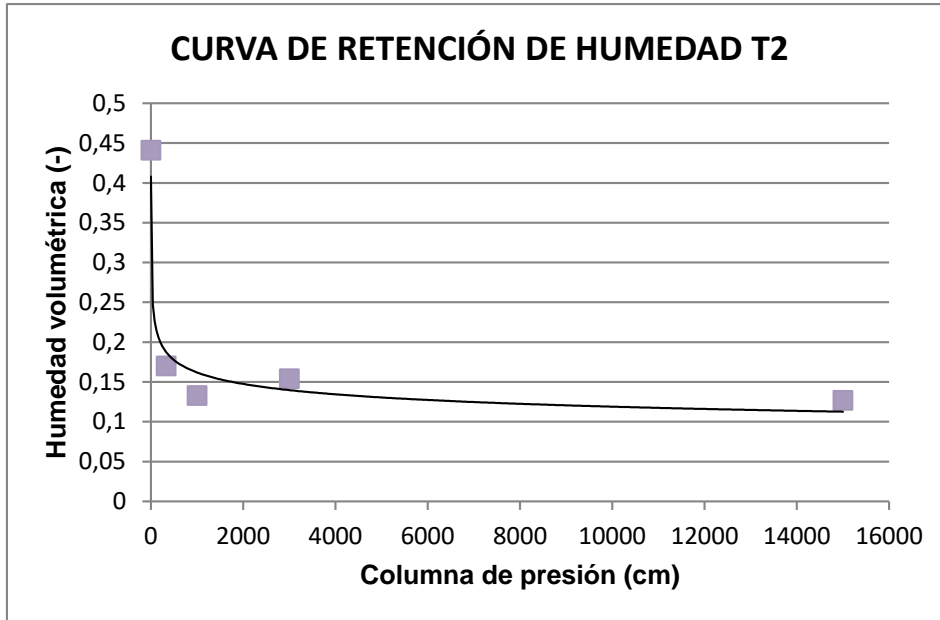
**Gráfico 20. Curva de Retención de Humedad para T1**



Para esta gráfica se observa un comportamiento normal para un suelo con textura gruesa como lo es el del estudio, franco arenoso y la interpretación de la misma idéntica a la del tratamiento To (testigo).

### 6.2.2.3. Curva de Retención de Humedad (CRH) para T2

Gráfico 21. Curva de Retención de Humedad para T2

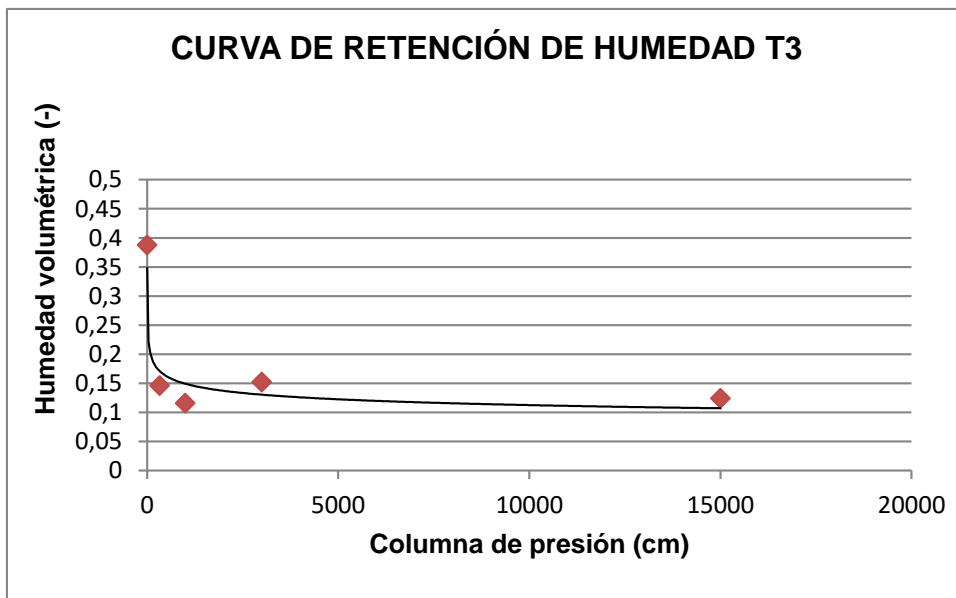


CP	HV
1	0,441
330	0,17
CC	
1000	0,133
3000	0,154
15000	0,127
PMP	

Para esta gráfica se observa un comportamiento normal para un suelo franco arenoso y la interpretación de la misma idéntica a la del tratamiento To (testigo).

### 6.2.2.4. Curva de Retención de Humedad (CRH) para T3

Gráfico 22. Curva de Retención de Humedad para T3



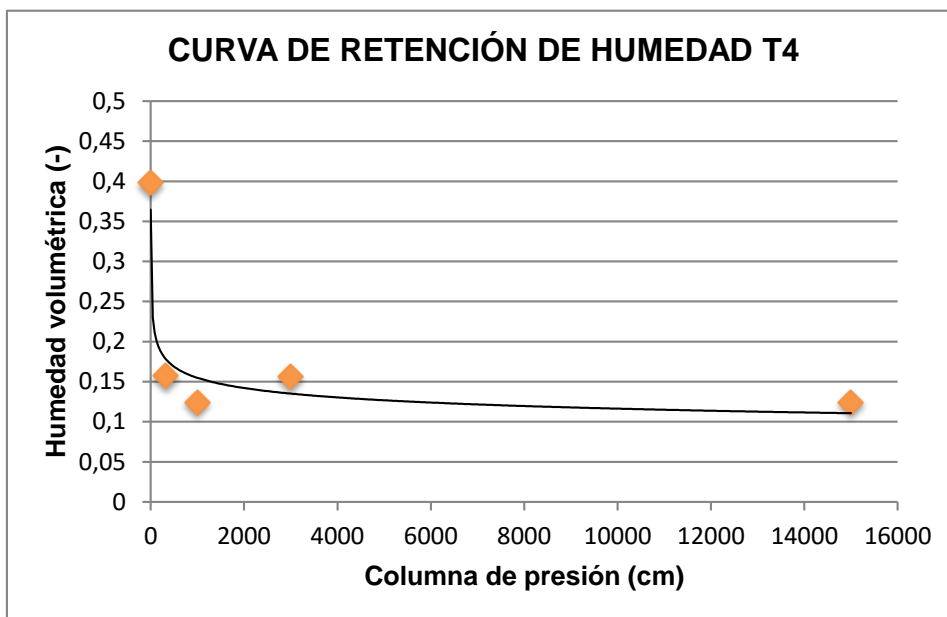
CP	HV
1	0,388
330	0,146
CC	
1000	0,116
3000	0,152
15000	0,124
PMP	



Para esta gráfica se observa un comportamiento normal para un suelo franco arenoso y la interpretación de la misma, idéntica a la del tratamiento To (testigo).

#### 6.2.2.5. Curva de Retención de Humedad (CRH) para T4

Gráfico 23. Curva de Retención de Humedad para T4



CP	HV
1	0,398
330 CC	0,157
1000	0,124
3000	0,156
15000 PMP	0,124

Para esta gráfica se observa un comportamiento normal para un suelo franco arenoso y la interpretación de esta, idéntica a la del tratamiento To (testigo).

Tabla 13. Comparación de los valores de HV de las Curvas de Retención de Humedad

CP	HV				
	To	T1	T2	T3	T4
1	0,393	0,454	0,441	0,388	0,398
330 CC	0,134	0,183	0,170	0,146	0,157
1000	0,109	0,124	0,133	0,116	0,124
3000	0,137	0,136	0,154	0,152	0,156
15000 PMP	0,107	0,120	0,127	0,124	0,124

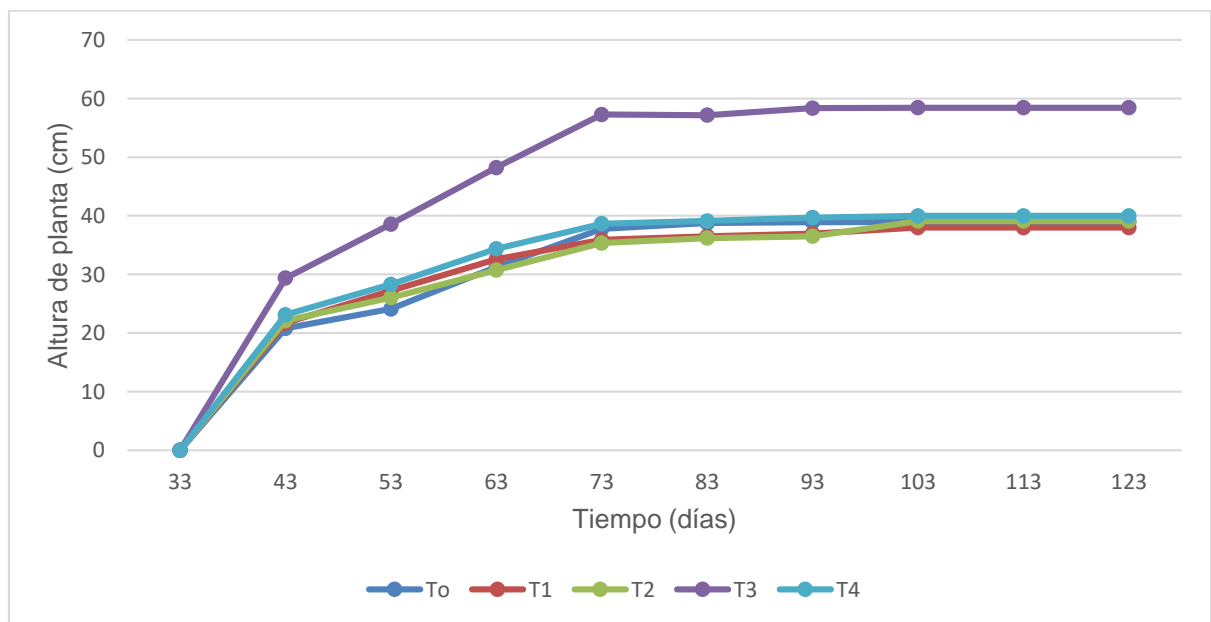
Según los datos presentados en la tabla se puede observar un incremento en los valores de Humedad Volumétrica a Capacidad de Campo y a Punto de Marchitez Permanente en las Curvas de Retención de Humedad de los tratamientos a los que se les adicionó las enmiendas orgánicas respecto al testigo, por lo que se puede afirmar que las enmiendas orgánicas tuvieron un efecto positivo al presentar valores mayores de retención de humedad.

### 6.3. Variables agromorfológicas

#### 6.3.1. Altura de planta hasta la cosecha

En el siguiente gráfico se observa el crecimiento de las plantas obtenidos con los datos de altura de planta tomados cada 10 días.

**Gráfico 24. Dinámica del crecimiento de la altura de planta del cultivo de quinua.**



Se puede observar que el gráfico presenta un crecimiento típico observado en las plantas, exponencial al comienzo y rectilíneo desde cierta etapa. Asimismo, se puede aseverar que el T3 (adición de Compost al sustrato) obtuvo el mayor valor de altura de planta ya que, en promedio, las plantas de este tratamiento llegaron a medir 58,4 cm, en cambio, los demás tratamientos obtuvieron un resultado parejo entre ellos en cuanto a altura de planta, con un promedio de 39 cm.

La siguiente tabla presenta el análisis de varianza para altura de planta, registrada en el momento de la cosecha, a los 121 días después de la siembra:

**Tabla 14. Análisis de varianza para altura de planta.**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
<b>Bloques</b>	196,23	3	65,41	3,95	0,0358 *
<b>Tratamientos</b>	1214,85	4	303,71	18,34	<0,0001 *
<b>Error</b>	198,68	12	16,56		
<b>Total</b>	1609,76	19			

**CV = 9,49 %**

CV=Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo

Con los resultados de este análisis de varianza, se observó que respecto a la gradiente de control (variación ambiental) de los bloques, se obtuvo un resultado significativo, lo que quiere decir que esta variación ambiental tuvo un efecto directo en la variable de altura de planta, es decir, se obtuvieron valores diferentes estadísticamente de altura de planta entre los bloques, para esta variable de respuesta se puede afirmar que el experimento ha ganado precisión.

Para el caso de tratamientos se puede señalar que la adición de diferentes enmiendas tuvo un efecto significativo sobre la altura de planta, por lo que se puede señalar que, agregando diferentes enmiendas orgánicas, la altura de planta será estadísticamente diferente.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 9,49 %, este valor permite señalar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Tabla 15. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para altura de planta.**

Tratamientos	Medias (cm)	N	E.E.	Grupos
<b>T1 = Ceniza volcánica</b>	38,00	4	2,03	A
<b>To = Testigo</b>	38,94	4	2,03	A
<b>T2 = Biochar</b>	39,10	4	2,03	A
<b>T4 = Zeolita</b>	39,99	4	2,03	A
<b>T3 = Compost</b>	58,43	4	2,03	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

La prueba de Duncan para esta variable indica que el T3 (adición de Compost al sustrato) obtuvo la mayor altura de planta, y que los demás tratamientos (T1, To, T2 y T4) obtuvieron valores iguales estadísticamente en cuanto a esta variable, lo que

finalmente permite recomendar la adición de Compost para obtener la mayor alta de planta.

Se ha podido observar, de igual manera que las alturas presentadas en las plantas del estudio, fueron muy bajas, una razón a la cual se le puede atribuir tal fenómeno, es que para el estudio, las plantas se encontraban en macetas pequeñas (15 x 20 cm) y las raíces no pudieron desarrollarse adecuadamente, considerando que según lo que indican Gomez & Aguilar (2016) las raíces de la quinua pueden alcanzar una longitud de raíz de 0,8 a 1,5 m., y con respecto a esto Mujica, *et al.* (2001) indican que la raíz puede alcanzar hasta 1.80 m de profundidad en casos de sequía.

Un estudio realizado por Maceda (2015) donde se evaluó el efecto del compost y estiércol de ovino en el cultivo de quinua, mostró resultados donde se destacan los tratamientos con adición de las mayores dosis de 60 y 30 t/ha de estiércol y compost bajo riego deficitario, obteniendo una altura de planta de 86,45 cm y 74,07 cm para 60 t/ha de compost y estiércol seguidos por 73,93 y 67,5 cm.

### 6.3.2. Diámetro de tallo

**Tabla 16. Análisis de varianza para diámetro de tallo.**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	
<b>Bloques</b>	1,6E-03	3	5,4E-04	1,98	0,1715	<b>NS</b>
<b>Tratamientos</b>	0,06	4	0,02	55,87	<0,0001	*
<b>Error</b>	3,3E-03	12	2,7E-04			
<b>Total</b>	0,07	19				

**CV = 6,10 %**

CV = Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo

Con los resultados que se obtuvieron en este análisis de varianza, se puede afirmar que respecto a la variable que se bloqueó (variación ambiental), se obtuvo un resultado no significativo, lo que quiere decir que los bloques no tuvieron un efecto directo en el diámetro de tallo, es decir, se obtuvieron valores diferentes estadísticamente de diámetro de tallo entre los bloques, para esta variable de respuesta se puede afirmar que el experimento ha perdido precisión.

Para el caso de tratamientos se puede decir que la adición de diferentes enmiendas orgánicas influyó significativamente sobre el diámetro de tallo, por lo que se puede

señalar que agregando diferentes enmiendas orgánicas, el diámetro de tallo será estadísticamente diferente.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 6,10 %, este valor permite afirmar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Tabla 17. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para diámetro de tallo.**

Tratamientos	Medias (cm)	N	E.E.	Grupos
<b>To = Testigo</b>	0,23	4	0,01	A
<b>T4 = Zeolita</b>	0,23	4	0,01	A
<b>T1 = Ceniza volcánica</b>	0,25	4	0,01	A B
<b>T2 = Biochar</b>	0,27	4	0,01	B
<b>T3 = Compost</b>	0,38	4	0,01	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

El resultado que se obtuvo en esta prueba de medias Duncan permite que se afirme que con la adición del T3 (Compost) al sustrato, se pudo obtener el mayor valor de diámetro de tallo, siendo este un valor de 0,38 cm.

Considerando este aspecto, se observó un incremento del diámetro de tallo relacionado con la aplicación de compost en la investigación de Mamani (2018) en el cual estudió el comportamiento agronómico de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con la aplicación de harina de rocas y compost en el altiplano central, se observó que al agregar 2,5 t/ha de únicamente compost, el diámetro de tallo obtenido fue en promedio de 0,80 cm, y al agregar 5 t/ha fue de 0,85 cm, considerando que para el testigo existió un menor desarrollo en el diámetro del tallo alcanzando un promedio de 0,72 cm.

### 6.3.3. Tamaño de panoja a la madurez

#### 6.3.3.1. Diámetro de panoja

**Tabla 18. Análisis de varianza para diámetro de panoja.**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
<b>Bloques</b>	0,11	3	0,04	1,56	0,2507 <b>NS</b>
<b>Tratamientos</b>	0,65	4	0,16	6,64	0,0047 *
<b>Error</b>	0,29	12	0,02		
<b>Total</b>	1,05	19			

**CV = 9,98 %**

*CV=Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo*

Al observar este análisis de varianza, se puede afirmar que entre los bloques no se

obtuvieron diferencias estadísticas, lo que quiere decir que la variación ambiental no influyó en el diámetro de panoja, es decir, se obtuvieron valores diferentes estadísticamente de diámetro de panoja entre los bloques, para esta variable de respuesta se puede afirmar que el experimento ha perdido precisión.

En el caso de tratamientos se puede aseverar que el uso de diferentes enmiendas orgánicas influyó significativamente sobre la variable de diámetro de panoja, es así que se puede señalar que agregando diferentes enmiendas orgánicas, el diámetro de panoja será diferente estadísticamente.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 9,98 %, este valor permite afirmar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Tabla 19. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para diámetro de panoja.**

Tratamientos	Medias (cm)	N	E.E.	Grupos
<b>T4 = Zeolita</b>	1,41	4	0,08	A
<b>To = Testigo</b>	1,43	4	0,08	A
<b>T2 = Biochar</b>	1,47	4	0,08	A
<b>T1 = Ceniza volcánica</b>	1,62	4	0,08	A
<b>T3 = Compost</b>	1,89	4	0,08	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

La prueba de Duncan para esta variable indica que adicionando el T3 (Compost) al sustrato, se obtuvo el mayor valor de diámetro de panoja (1,89 cm), igualmente se puede concluir que usando los demás tratamientos (T4, To, T2 y T1) se obtuvo estadísticamente el mismo valor y el más bajo de esta variable, que en promedio fue de 1,48 cm, finalmente se puede recomendar la adición de Compost como enmienda orgánica, ya que el diámetro de panoja fue más alto.

Se puede observar un resultado parecido en el estudio de Maceda (2015) en el cual se agregó, entre las dosis más altas 30 y 60 t/ha a secano, y se obtuvo un incremento en el promedio del diámetro de panoja, a 3,26 y 3,19 cm respectivamente, respecto al testigo con 2,72 cm, por lo que se vio un efecto de la adición de compost en esta variable de respuesta.

### 6.3.3.2. Longitud de panoja

**Tabla 20. Análisis de varianza para longitud de panoja.**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
<b>Bloques</b>	6,83	3	2,28	9,18	0,0020 *
<b>Tratamientos</b>	45,87	4	11,47	46,27	<0,0001 *
<b>Error</b>	2,97	12	0,25		
<b>Total</b>	55,68	19			

**CV = 10,71 %**

CV=Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo

Con los resultados que se obtuvieron en este análisis de varianza, se puede afirmar que, respecto a la diferencia ocasionada por la variación ambiental, se obtuvo un resultado significativo, lo que quiere decir que los bloques tuvieron un efecto directo en la longitud de panoja, es decir, se obtuvieron valores estadísticamente diferentes de longitud de panoja entre los bloques, para esta variable de respuesta se puede afirmar que el experimento ha ganado precisión.

Para el caso de tratamientos se puede decir que la adición de las diferentes enmiendas orgánicas influyó significativamente sobre la longitud de panoja, por lo que se puede señalar que, agregando diferentes enmiendas orgánicas, la longitud de panoja será estadísticamente diferente.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 10,71 %, este valor permite afirmar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Tabla 21. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para longitud de panoja.**

Tratamientos	Medias (cm)	N	E.E.	Grupos
<b>T4 = Zeolita</b>	3,67	4	0,25	A
<b>To = Testigo</b>	3,76	4	0,25	A
<b>T2 = Biochar</b>	3,96	4	0,25	A
<b>T1 = Ceniza volcánica</b>	4,21	4	0,25	A
<b>T3 = Compost</b>	7,66	4	0,25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La prueba de Duncan para esta variable indica que adicionando el T3 (Compost) al sustrato, se obtuvo el valor más alto de la longitud de panoja (7,66 cm), igualmente se puede indicar que usando los demás tratamientos (T4, To, T2 y T1) el valor fue estadísticamente el mismo y fue más bajo, en promedio fue de 3,9 cm, finalmente se

puede recomendar la adición de Compost como enmienda orgánica, ya que la longitud de panoja fue mayor.

En el estudio de Mamani (2018) se presentaron resultados parecidos, ya que en los tratamientos donde sólo se agregaron compost, se observó un leve incremento de la longitud de panoja, obteniendo 27,12 y 27,62 cm para la adición de 2,5 y 5 t/ha respectivamente, contrastando con los 25,37 cm del testigo.

#### 6.3.4. Rendimiento de grano por planta

**Tabla 22. Análisis de varianza para Rendimiento de grano por planta.**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
<b>Bloques</b>	0,29	3	0,10	4,57	0,0235 *
<b>Tratamientos</b>	18,22	4	4,56	212,21	<0,0001 *
<b>Error</b>	0,26	12	0,02		
<b>Total</b>	18,77	19			

**CV = 8,57 %**

CV=Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo

Observando este análisis de varianza, se puede aseverar que entre los bloques se obtuvieron diferencias estadísticas, lo que quiere decir que la variación ambiental influyó directamente en el rendimiento de grano por planta, es decir, se obtuvieron valores diferentes estadísticamente de rendimiento entre los bloques. En el caso de tratamientos se puede afirmar que la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas influyó significativamente sobre la variable de rendimiento de grano por planta, entonces, se puede señalar que, agregando diferentes enmiendas orgánicas, el rendimiento de grano será diferente estadísticamente.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 8,57 %, este valor permite afirmar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

**Tabla 23. Prueba de medias Duncan al 5 % de significancia para rendimiento de grano por planta.**

Tratamientos	Medias (g)	N	E.E.	Grupos
<b>To = Testigo</b>	0,98	4	0,07	A
<b>T1 = Ceniza volcánica</b>	1,25	4	0,07	B
<b>T4 = Zeolita</b>	1,28	4	0,07	B
<b>T2 = Biochar</b>	1,44	4	0,07	B
<b>T3 = Compost</b>	3,60	4	0,07	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )



Analizando la prueba de medias Duncan de esta variable se puede corroborar que al adicionar el T3 (Compost) al sustrato, se obtuvo el valor más alto de rendimiento (3,60 g), asimismo, se puede indicar que usando los tratamientos (T4, To, T2 y T1) presentaron estadísticamente el mismo rendimiento y en promedio fue de 1,32 g, de la misma manera, el tratamiento que presentó el rendimiento más bajo fue el To (testigo – sin adición de enmiendas orgánicas) debido a que presentó un rendimiento de 0,98 g, finalmente se puede recomendar la adición de Compost como enmienda orgánica, ya que se obtuvo el mejor rendimiento.

Se pudo ver un resultado similar en el trabajo de Maceda (2018) que encontró que el rendimiento se vio afectado por la aplicación de compost de forma positiva en cuanto a rendimiento, con un riego deficitario, usó las dosis de 0, 15, 30, 60 t/ha de compost y obtuvo estos rendimientos: 951, 1501, 2451 y 1876 t de grano/ha respectivamente.

### 6.3.5. Índice de cosecha

**Tabla 24. Análisis de varianza para Índice de cosecha.**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
<b>Bloques</b>	1,7E-03	3	5,8E-04	0,09	0,9620	<b>NS</b>
<b>Tratamientos</b>	0,03	4	0,01	1,13	0,3893	<b>NS</b>
<b>Error</b>	0,07	12	0,01			
<b>Total</b>	0,10	19				

**CV = 12,60 %**

CV = Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza de esta variable permiten afirmar que respecto a la gradiente que se usó para definir los bloques, se obtuvo un resultado no significativo, lo que quiere decir que la variación ambiental no tuvo un efecto directo en el índice de cosecha, es decir, se obtuvieron valores estadísticamente iguales del índice de cosecha entre los bloques, para esta variable de respuesta se puede afirmar que el experimento ha perdido precisión.

Para el caso de tratamientos se puede decir que la adición de las diferentes enmiendas orgánicas no tuvo una influencia significativa sobre el índice de cosecha, por lo que se puede afirmar que, agregando diferentes enmiendas orgánicas, el índice de cosecha será estadísticamente el mismo. De esta manera, se puede afirmar que en promedio se tuvo un índice de cosecha de 0,62.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 12,60 %, este valor permite afirmar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

Al igual que los resultados de la presente tesis, en la investigación de Maceda (2015) la adición de compost no tuvo ningún efecto sobre el índice de cosecha.

### 6.3.6. Peso hectolítrico del grano limpio

**Tabla 25. Análisis de varianza para peso hectolítrico del grano limpio.**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor	
<b>Bloques</b>	7,90	3	2,63	1,15	0,3693	<b>NS</b>
<b>Tratamientos</b>	12,01	4	3,00	1,31	0,3216	<b>NS</b>
<b>Error</b>	27,52	12	2,29			
<b>Total</b>	47,43	19				
<b>CV = 20,49 %</b>						

CV=Coeficiente de Variación; \* = Significativo; NS = No Significativo

Observando este análisis de varianza, se puede aseverar que entre los bloques no se obtuvieron diferencias estadísticas, lo que quiere decir que la variación ambiental de no influyó directamente en el peso hectolítrico del grano limpio, es decir, se obtuvieron valores iguales estadísticamente de la variable de peso hectolítrico entre los bloques.

En el caso de tratamientos se puede afirmar que la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas no tuvo influencia significativa sobre la variable de peso hectolítrico del grano limpio, entonces, se puede concluir que, agregando diferentes enmiendas orgánicas, el peso hectolítrico será estadísticamente el mismo. De este modo, se puede afirmar que en promedio se tuvo un peso hectolítrico del grano limpio de 7,39 g.

Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 20,49 %, este valor permite afirmar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

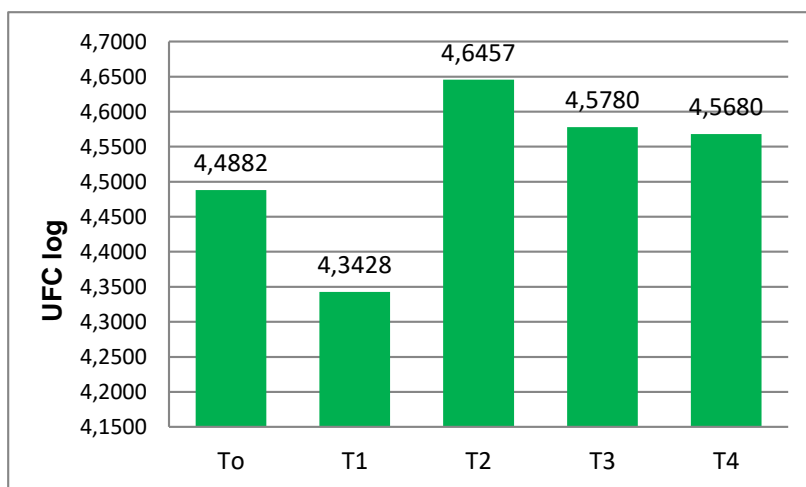
Asimismo, se encontró que en el estudio de Alcon (2018), donde se evaluó las variables agronómicas de la quinua y calidad de grano con aplicación de niveles de estiércol ovino y urea, en sus resultados se puede ver que la adición de estiércol de ovino no tuvo ningún efecto sobre el peso hectolítrico.

### 6.3.7. Unidades Formadoras de Colonias De Hongos (UFC)

Tabla 26. Datos del promedio y desviación estándar del conteo de las Unidades Formadoras de Colonias De Hongos (UFC) por tratamiento.

TRAT	UFC prom	Desv. Est.
To	4,4882	0,52724343
T1	4,3428	0,38776113
T2	4,6457	0,50116883
T3	4,5780	0,56934614
T4	4,5680	0,60218829

Gráfico 25. Conteo de las Unidades Formadoras de Colonias De Hongos (UFC) por tratamiento.



Con los datos que son brindados en este conteo de Unidades Formadoras de Colonias de Hongos y observando los datos de las desviaciones estándar se puede aseverar que no hubo una gran variabilidad entre los datos de UFC por tratamiento.

Se puede observar que el mayor valor obtenido en UFC es para el tratamiento T2 (adición de Biochar al sustrato) y el valor más bajo fue para la adición de Ceniza volcánica, por lo que se puede concluir que hubo una mayor actividad biológica de estos microorganismos en el sustrato con Biochar.

## 7. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados que se analizaron en este trabajo de investigación, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

El uso de distintas enmiendas orgánicas tuvo efecto significativo sobre los valores de humedad volumétrica, este resultado se presentó en todas las evaluaciones de retención de la humedad volumétrica (mensual: febrero, marzo y abril), siendo en todos los casos el tratamiento con adición de biochar (T2) el resultado que obtuvo la retención de humedad más baja y los demás tratamientos (To, T1, T3 y T4) fueron superiores al T2 con valores similares entre sí.

Las curvas de retención de humedad presentan características similares para todos los tratamientos y corresponden a un suelo con textura gruesa, la adición de las enmiendas no tuvo un efecto significativo sobre esta variable.

La altura de planta fue influenciada por la aplicación de las enmiendas (tratamientos) y la mejor altura de planta fue obtenida por la adición de compost (T3). Lo mismo sucedió para el diámetro de tallo, el diámetro de panoja y la longitud de panoja, ya que estas variables tuvieron un efecto por la aplicación de las enmiendas y los mejores resultados fueron obtenidos por la adición de compost (T3).

Para rendimiento de grano por planta se observó que el mismo fue influenciado por la aplicación de las enmiendas (tratamientos) y el mejor rendimiento fue el que se obtuvo gracias a la adición de compost (T3).

En el caso del índice de cosecha no se tuvo un efecto significativo por lo que no fue influenciado por la aplicación de las enmiendas.

Para peso hectolítrico del grano limpio se pudo evidenciar que no se obtuvo un efecto significativo en esta variable, es decir, no fue influenciado por la aplicación de las enmiendas.

Para el conteo de Unidades Formadoras de Colonias de Hongos se puede concluir que no hubo una gran variabilidad entre los datos de UFC por tratamiento, aunque se evidenció mayor número de UFC en el sustrato con adición de biochar.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda evaluar el uso de otras dosis, especialmente más elevadas, de las enmiendas orgánicas que se presentaron en el estudio.
- Se recomienda evaluar más variedades de quinua y su cultivo en invernadero, para observar su comportamiento y la proporción en la que su ciclo se acorta en el invierno.
- Se recomienda investigar sobre el uso del biochar y como esta enmienda podría ser benéfica a los microorganismos del suelo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Abya Yala Digital. (5 de Noviembre de 2019). *Producción nacional de quinua sube a 67 mil toneladas en el periodo 2018 - 2019*. Obtenido de Abya Yala Digital: [https://www.youtube.com/watch?v=WwP4dambDGQ#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20quinua%20org%C3%A1nica,de%20la%20Quinua%20\(CIQ\)](https://www.youtube.com/watch?v=WwP4dambDGQ#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20quinua%20org%C3%A1nica,de%20la%20Quinua%20(CIQ).).
- Alandia, G., Rodriguez, J., Jacobsen, S., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26(100429), 1-10.
- Alcon, G. (2018). *Evaluación de las variables agronómicas de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y calidad de grano con aplicación de niveles de estiércol ovino y urea*. Tesis de grado, La Paz, Bolivia.
- Arrigo, N., Jiménez, M., Palma, R., Benito, M., & Tortarolo, M. (2005). Residuos de poda compostados y sin compostar: Uso potencial como enmienda orgánica en suelo. *Ciencia del suelo*, 23(1), 87-92.
- Barbaro, L., Illa, V., Karlanian, M., & Mazzoni, A. (2015). Ceniza volcánica como alternativa a la perlita en la formulación de sustratos para plantines florales. *Ciencia del Suelo*, 33(2), 213-219.
- Barrena, R. (2006). Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. *Tesis Doctoral*, 315. Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Bonifacio, A., Vargas, A., & Aroni, G. (2003). Variedad "Quinua Jacha Grano". *Ficha Técnica Nº 6 - 2003*. La Paz, Bolivia: Fundación PROINPA.
- Brewer, C., Schmidt-Rohr, K., Satrio, J., & Brown, R. (2009). Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. *Environmental Progress & Sustainable Energy: An Official Publication of the American Institute of Chemical Engineers*, 28(3), 386-396.
- Bruun, E., Müller-Stöver, D., Ambus, P., & Hauggaard-Nielsen, H. (2011). Application of biochar to soil and N<sub>2</sub>O emissions: potential effects of blending fast-pyrolysis biochar with anaerobically digested slurry. *European Journal of Soil Science*, 62(4), 581-589.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. México: Intagri.
- Chica, F., Londoño, L., & Álvarez, M. I. (2006). La zeolita en la mitigación ambiental. *Revista Lasallista de investigación*, 30-34.

- Chuquimia, A. (2020). *Evaluación de curvas de retención de humedad para diferentes tipos de suelo y la disponibilidad de agua para las plantas*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Chura, B. (2009). *Fortalecimiento de la cadena productiva de la quinua real*. Farmer Empowerment. Swissaid.
- CIQ. (12 de Junio de 2020). *Quinua: superficie, producción y rendimiento por año agrícola*. Obtenido de Centro Internacional de la Quinua - Bolivia: <http://si.ciq.org.bo/2019/11/26/quinua-superficie-produccion-y-rendimiento-por-ano-agricola/>
- Colombani, N., Mastrocicco, M., Di Giuseppe, D., Faccini, B., & Coltorti, M. (2014). Variation of the hydraulic properties and solute transport mechanisms in a silty-clay soil amended with natural zeolites. *Catena*, 123, 195-204.
- Córdova-Rodríguez, V., Tito-Ferro, D., Rodríguez-Iznaga, I., Acosta-Chávez, R., & Quintana-Puchol, R. (2017). Caracterización de la zeolita natural de Palmarito de Cauto y su valoración como intercambiador iónico. *Minería y Geología*, 30(4), 1-20.
- Delgado-Londoño, D. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, 1(17), 77-82.
- Esprella Viroel, B. J. (2011). *Evaluación del rendimiento del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa willd.) con la aplicación de niveles de abono orgánico bajo condiciones de riego deficitario en el altiplano central*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Fernandez, M., & Sahonero, R. (2013). Estudio de la morfología y viabilidad de semillas de ocho taxones de quinua silvestre en Bolivia. *In Congreso Científico de la Quinua. No. CIDAB-SB191. Q2-C61*, págs. 31-41. Bolivia: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.
- Ferreira, R., & Selles, G. (2013). *Manual de riego para especies frutales: Uso eficiente del agua de riego y estrategias para enfrentar periodos de escasez*. Recuperado el 2020, de Boletín INIA 278: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789>
- Gabriel, J. L. (2013). Quinua de valle (*Chenopodium quinoa Willd.*): fuente valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa Willd.*). *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(3), 27-44.
- Galarza, C., Robalino, D., Paredes, J., & Garcés, M. (2017). Aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios para la obtención de bocashi utilizando ceniza volcánica. *Revista digital de Medio Ambiente "Ojeando la agenda"*, 54-74.

- García, J. (2011). Las curvas de retención de humedad y su estimación mediante funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de Artemisa y Mayabeque. *Tesis doctoral*. Mayabeque, Cuba: Universidad Agraria de La Habana.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., & Khodaei-Joghan, A. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, 117, 106-114.
- Gobierno Autónomo Municipal de Viacha. (2016). *Plan Territorial de Desarrollo Integral 2016-2020*. Dirección de Planificación, Viacha, Bolivia.
- Gomez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. (U. N. Molina, Ed.) Obtenido de FAO.org: <http://www.fao.org/3/a-i5374s.pdf>
- Guevara, B., Ortega, H., Ríos, R., Solano, E., & Vanegas, J. M. (2015). Morfología y geoquímica de suelos de Xochimilco. (Chapingo, Ed.) *Terra Latinoamericana*, 33(4), 263-273.
- Hong, S., Cheon, K., Yoo, K., Lee, H., Cho, K., Suh, J., . . . Kim, Y. (Octubre de 2017). Complete Chloroplast Genome Sequences and Comparative Analysis of *Chenopodium quinoa* and *C. album*. *Plant Sci*, 8(1696). doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01696>
- Huayllas, I., Bonifacio, A., & Blanco, W. (2020). Valoración de las cualidades nutricionales de germinados de cinco variedades (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones atemperadas en el Centro Experimental Cota Cota. *Aphtapi*, 1744-1756.
- Huerta, O., Martínez, X., Gallart, M., & Soliva, M. (2011). El uso de compost de residuos sólidos municipales como enmienda orgánica: aportaciones de diferentes componentes según origen. *Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medioambiental*, 125-134.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia*, 49-61.
- Kauffman, N., Dumortier, J., H. D., Brown, R., & Laird, D. (2014). Producing energy while sequestering carbon? The relationship between biochar and agricultural productivity. *Biomass and Bioenergy*, 63, 167-176.
- Lescano, J. (1994). *Genética y mejoramiento de cultivos antoandinos: Quinua, kañiwa, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca*. Puno, Perú: INADE/PELT-COTESU.



- Lescano, R. (1971). *Cultivo de la quinua*. Lima, Perú: Ministerio de agricultura del Perú.
- Libra, J., Ro, K., Kammann, C., Funke, A., Berge, N., Neubauer, Y., & Emmerich, K. (2011). Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, 2(1), 71-106.
- Liu Xu, L. (2015). Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de *Rosmarinus officinalis* L. en vivero profesional. *Tesis doctoral*. Valencia, España: Universitat Politècnica de Valencia.
- Lizcano, A., Herrera, M., & Santamarina, C. (2006). Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6(2), 167-197.
- Loaiza, J. C., & Pauwels, V. (2008). Utilización de sensores de humedad para la determinación del contenido de humedad del suelo (ecuaciones de calibración). *Suelos ecuatoriales*, 24-33.
- López, J. (1976). *La calidad de la proteína en la quinua, (Chenopodium quinoa willd)*. CD-IICA.
- López, M., Hernández, M., Barahona, C., Martínez, M., Portillo, R., & Rojas, F. (2010). Propiedades fisicoquímicas de la clinoptilolita tratada con fertilizantes a usar como aditivo en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Terra latinoamericana*, 28(3), 247-254.
- Maceda, W. (2015). *Efecto del compost y estiércol de ovino en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) - Villa Patarani Altiplano Central*. Tesis de licenciatura, La Paz, Bolivia.
- Mamani, C. (2016). *Evaluación de características comerciales del grano en líneas de quinua (Chenopodium quinoa willd.) de ciclo tardío, en la localidad de K'iphak íphani, Viacha*. Tesis de grado, La Paz, Bolivia.
- Mamani, E. (2018). *Comportamiento agronómico de la quinua (Chenopodium quinoa willd) con la aplicación de harina de rocas y compost, en la comunidad Chuca provincia Pacajes - Altiplano central*. Tesis de licenciatura, La Paz.
- Mamani, J. (2018). Curvas IDF para la estación meteorológica de Viacha, departamento de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(1), 99-105.
- Martínez, J., & Ceballos, A. (2001). Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo. (J. y. López, Ed.) *Temas de investigación de zona no saturada.*, 37-43.

- Méndez, M., Ligarreto, G., Hernández, M., & Melgarejo, L. (2004). Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (*Capsicum* sp.) cultivados en la Amazonía colombiana. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 7-17.
- Mosquera, B. (2010). Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana. *Manual para la elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos*, 24. Fondo para la Protección del Agua. Recuperado el 2021 de Mayo de 17, de [http://www.fonag.org.ec/doc\\_pdf/abonos\\_organicos.pdf](http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf)
- Mujica, A., & Canahua, A. (1989). Fases fenológicas del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow). En Salcedo (Ed.), *Curso Taller, Fenología de cultivos andinos y uso de la información agrometeorológica* (págs. 23-27). Puno, Perú: INIAA, EEZA-ILLPA, PICA, PISA.
- Mujica, A., & Jacobsen, S.-E. (1999). Recursos Genéticos y Mejoramiento de la Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Memorias, Primer Taller Internacional sobre Quinua—Recursos Genéticos y Sistemas de Producción* (págs. 37-48). Lima, Perú: FAO.
- Mujica, A., Jacobsen, S.-E., Izquierdo, J., & Marathee, J. P. (2001). *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y del futuro*. Santiago, Chile: FAO.
- Navia, O., Gandarillas, A., Ortuño, N., Lino, V., ruña, O., Barja, D., . . . Rojas., W. (2013). La quinua orgánica: Estrategia de manejo integrado del cultivo. *Memorias, Congreso Científico de la Quinua*, (págs. 475-481). La Paz, Bolivia.
- Paco, D. A. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta*. Bellaterra, España: Universidad Autónoma de Barcelona.
- PROINPA. (2011). *La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. FAO.
- Risi, J. (2013). *Memorias, Congreso Científico de la Quinua*, (págs. 5-6). La Paz, Bolivia.
- Rojas, W., & Pinto, M. (2013). La diversidad genética de quinua de Bolivia. *Memorias, Congreso Científico de la Quinua*, (págs. 77-91). La Paz, Bolivia.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Royal Quinoa Bolivia. (30 de Diciembre de 2019). *Exportación de quinua en Bolivia: 8 datos clave*. Recuperado el 10 de octubre de 2020, de

<https://royalquinoabolivia.com/es/2019/12/exportacion-de-quinua-real-en-bolivia/>

- Santos, J., San Juan, R., de Provens, E., & Arrarás, Í. (2006). Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Invest Agrar: Sist Recur For*, 14-23.
- Saravia, R., & Bonifacio, A. (2014). *Fases y etapas fenológicas del cultivo de la quinua*. La Paz, Bolivia: Fundación PROIMPA.
- Shaxson, F. (1993). Sustainability. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48(4), 249-251.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización De La Humedad Del Suelo Para La Producción Vegetal: el Significado De La Porosidad Del Suelo*. Boletín de Suelos de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma.
- Snedecor, G. W., & Cochran, W. G. (1980). *Statistical methods* (7th ed.). Iowa State University Press.
- Soca, M., & Daza-Torres, M. (2016). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976.
- Soca-Núñez, M., & Villarreal-Núñez, J. (2016). Dosis de zeolita y fracciones granulométricas para cultivos de plátano y caña de azúcar. *Ciencia Agropecuaria*, 25, 131-146.
- Tapia, M. (1999). Zonificación agroecológica del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Memorias, Primer taller internacional sobre quinua: recursos genéticos y sistemas de producción*. Lima, Perú: FAO.
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., & Mujica, A. (1979). *La Quinua y la kañiwa: cultivos andinos*. Bogotá, Colombia: IICA/CATIE.
- Tellería, E. L. (31 de Marzo de 2019). Bolivia reafirma su liderazgo como productor de quinua orgánica. *El Fulgor.com: periodismo para todos*. Obtenido de <https://elfulgor.com/noticia/745/bolivia-reafirma-su-liderazgo-como-productor-de-quinua-organica>
- Tito, Y., López, W., & Martín, F. (Marzo de 2017). *Manual de observaciones fenológicas*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2020, de Repositorio Institucional SENAMHI: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/272>
- Trujillo, E., Valencia, A., Alejandrina, Alegría, A., & Césare, C. (2019). Producción y caracterización química de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 489-504.

- Veizaga, A., & Geerts, S. (2013). Efecto de las rocas en la curva de retención de agua del suelo y en un modelo de productividad de agua del cultivo. *Memorias, Congreso Científico de la Quinoa*, (págs. 117-128). La Paz, Bolivia.
- Veramendi, S., Bonifacio, A., Cadima, X., & Rojas, W. (2013). Caracterización de la diversidad genética de la colección boliviana de quinoa, utilizando microsatélites. En M. Vargas (Ed.), *Memorias, Congreso Científico de la Quinoa*, (págs. 43-53). La Paz, Bolivia.
- Videgain, M., Marco, P., Martí, C., García-Ramos, F., & Manyà, J. &.-V. (2019). Evaluación de los efectos de la aplicación de biochar como enmienda orgánica en un cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) bajo condiciones de invernadero. *X Congreso Ibérico de Agroingeniería*. Huesca - España.
- WMO, W. M. (2008). *Guide to Hydrological Practices: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information* (Vol. I).
- Zenteno, V., Stadler-Kaulich, N., Barreiro, D., & Brunner, J. (2013). Mejoramiento del suelo y aprovechamiento del espacio a través de cultivos asociados con quinoa. *Memorias, Congreso Científico de la Quinoa*, (págs. 129-135). La Paz, Bolivia.
- Zimmerman, A., Gao, B., & Ahn, M. (2011). Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil biology and biochemistry* 43(6), 43(6), 1169-1179.
- Zwingmann, N., Singh, B., Mackinnon, I., & Gilkes, R. (2009). Zeolite from alkali modified kaolin increases NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retention by sandy soil: Column experiments. *Applied Clay Science*, 46(1), 7-12.

## ANEXOS



**Figura 2. Plantas de quinua en etapa de crecimiento**



**Figura 3. Plantas en etapa de ramificación**



**Figura 4. Disposición de las unidades experimentales**





**Figura 5. Plantas de quinua en estado de marchitez (se procedía con el riego después de observar este fenómeno)**



**Figura 6. Medición de la humedad volumétrica directa al suelo de la maceta antes del riego**



**Figura 7. HSM50 (medidor de humedad volumétrica)**



**Figuras 8 y 9. Muestreo de los suelos por tratamiento para los diferentes análisis de laboratorio**



**Figura 10. Viento y separación de impurezas del grano**



**Figura 11. Trilla del grano**



**Figura 12. Viento del grano**



**Figura 13. Toma de datos de rendimiento de grano**



**Figuras 14 y 15. Toma de datos del peso hectolítrico**





**Figura 16. Muestreo de suelos en los cilindros (5x5) 3 muestras/tratamiento**



**Figura 17. Preparación de muestras de suelo**



**Figura 18. Proceso de capilaridad**



**Figura 19. Olla de Richards**



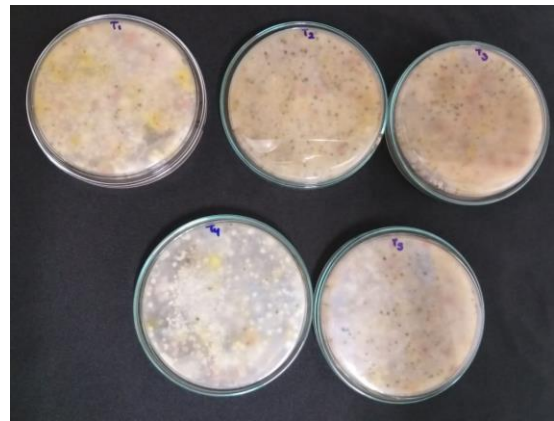
**Figura 20. Papa para el medio de cultivo para el conteo de UFC**



**Figura 21. Preparación del medio de cultivo**



**Figura 22. Muestras del suelo listas para introducir a las cajas de Petri**



**Figura 23. Cajas Petri con las colonias de los hongos para hacer el conteo de UFC**

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS - LAFASA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA



REPORTE  
 SALA DE HUMEDAD

Resp.lab. Ing. Elizabeth Yujra  
 Analista: Alejandro Chuquimia Quicaña

MUESTRAS	15- INDISTURBADAS	FECHA	18/10/2019
Cod.	ELIANA		
METODO	SANDBOX	PRESION	C-R-H
	OLLAS A PRESION RICHARDS		vol cilindro 98,17 cm3

Codigo	1	330	1000	3000	15000
T1R1	0,459	0,182	0,118	0,132	0,117
T1R2	0,442	0,186	0,127	0,134	0,118
T1R3	0,461	0,181	0,126	0,143	0,127
T2R1	0,543	0,153	0,123	0,138	0,117
T2R2	0,329	0,177	0,133	0,162	0,133
T2R3	0,451	0,180	0,145	0,162	0,131
T3R1	0,381	0,143	0,113	0,156	0,121
T3R2	0,383	0,136	0,115	0,146	0,127
T3R3	0,401	0,160	0,119	0,154	0,118
T4R1	0,392	0,159	0,125	0,156	0,120
T4R2	0,404	0,151	0,121	0,155	0,125
T4R3	0,398	0,161	0,126	0,155	0,128
T5R1	0,406	0,130	0,104	0,139	0,101
T5R2	0,394	0,145	0,121	0,138	0,114
T5R3	0,380	0,127	0,103	0,134	0,105

Codigo	1	330	1000	3000	15000
T1	0,454	0,183	0,124	0,136	0,120
T2	0,441	0,170	0,133	0,154	0,127
T3	0,388	0,146	0,116	0,152	0,122
T4	0,398	0,157	0,124	0,156	0,124
T5	0,393	0,134	0,109	0,137	0,107

Ph.D. Roberto Miranda Casas  
 Responsable  
 Laboratorio de Suelos de la  
 Facultad de Agronomía - LAFASA

**Figura 24. Resultado del Análisis de Humedad de los suelos (por tratamiento) proporcionado por LAFASA**





UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y  
AGUAS (LAFASA)



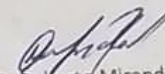
**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS**

**INTERESADO:** Eliana Chuquimia  
**PROCEDENCIA:** Departamento La Paz  
Municipio Viacha  
Provincia Ingavi  
Código To

**SOLICITUD:** LAF 128  
**FECHA DE ENTREGA:** 29/06/2019

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	66	Bouyoucos
	Limo	%	20	
	Arcilla	%	14	
	Clase Textural	-	Franco Arenoso	
pH en H <sub>2</sub> O relación 1:5		-	7.42	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmho/cm	0.20	Potenciometría
Acidez Intercambiable		meq/100g S.	0.12	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	3.05	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.57	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.67	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.40	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	4.81	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría

Laboratorio de Suelos  
Facultad de Agronomía  
**UMSA**

  
Ph.D. Roberto Miranda Casas  
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía  
Telf. IIAREN 2484647-74016356-73075326

**Figura 25. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del To proporcionado por LAFASA**



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y  
AGUAS (LAFASA)



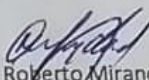
**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS**

INTERESADO: Eliana Chuquimia  
PROCEDENCIA: Departamento La Paz  
Municipio Viacha  
Provincia Ingavi  
Código T<sub>1-c</sub>

SOLICITUD: LAF 129  
FECHA DE ENTREGA: 29/06/2019

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	66	Bouyoucos
	Limo	%	18	
	Arcilla	%	16	
	Clase Textural	-	Franco Arenoso	
pH en H <sub>2</sub> O relación 1:5		-	7.31	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmho/cm	0.58	Potenciometría
Acidez Intercambiable		meq/100g S.	0.11	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	3.98	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.64	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	2.24	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.35	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	7.33	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría

Laboratorio de Suelos  
Facultad de Agronomía  
**UMSA**

  
Ph.D. Roberto Miranda Casas  
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía  
Telf. IIAREN 2484647-74016356-73075326

**Figura 26. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del T1 proporcionado por LAFASA**



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y  
AGUAS (LAFASA)



**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS**

INTERESADO: Eliana Chuquimia  
PROCEDENCIA: Departamento La Paz  
Municipio Viacha  
Provincia Ingavi  
Código T<sub>2-B</sub>

SOLICITUD: LAF 130  
FECHA DE ENTREGA: 29/06/2019

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	70	Bouyoucos
	Limo	%	14	
	Arcilla	%	16	
	Clase Textural	-	Franco Arenoso	
pH en H <sub>2</sub> O relación 1:5		-	7.73	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmho/cm	0.32	Potenciometría
Acidez Intercambiable		meq/100g S.	0.24	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	4.35	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.83	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.54	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	1.55	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	7.51	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría

Laboratorio de Suelos  
Facultad de Agronomía  
UMSA

Ph.D. Roberto Miranda Casas  
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía  
Telf. IIAREN 2484647-74016356-73075326

**Figura 27. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del T2 proporcionado por LAFASA**





UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA  
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y  
AGUAS (LAFASA)



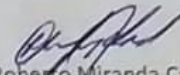
**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS**

**INTERESADO:** Ellana Chuquimia  
**PROCEDENCIA:** Departamento La Paz  
Municipio Viacha  
Provincia Ingavi  
Código T<sub>3</sub>-Co

**SOLICITUD:** LAF 131  
**FECHA DE ENTREGA:** 29/06/2019

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	68	Bouyoucos
	Limo	%	16	
	Arcilla	%	16	
	Clase Textural	-	Franco Arenoso	
pH en H <sub>2</sub> O relación 1:5		-	7.42	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmho/cm	0.20	Potenciometría
Acidez Intercambiable		meq/100g S.	0.23	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	4.64	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.88	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.58	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.50	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	6.83	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría

Laboratorio de Suelos  
Facultad de Agronomía  
**UMSA**

  
Ph.D. Roberto Miranda Casas  
LABORATORIO DE SUELOS

**Figura 28. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del T3 proporcionado por LAFASA**



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA  
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y  
AGUAS (LAFASA)



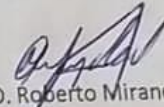
**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS**

**INTERESADO:** Eliana Chuquimia  
**PROCEDENCIA:** Departamento La Paz  
Municipio Viacha  
Provincia Ingavi  
Código T4 zealita

**SOLICITUD:** LAF 132  
**FECHA DE ENTREGA:** 29/06/2019

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	68	Bouyoucos
	Limo	%	14	
	Arcilla	%	16	
	Clase Textural	-	Franco Arenoso	
pH en H2O relación 1:5		-	7.28	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmho/cm	0.23	Potenciometría
Acidez Intercambiable		meq/100g S.	0.23	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	5.48	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.76	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.77	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	2.08	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	9.33	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría

Laboratorio de Suelos  
Facultad de Agronomía  
**UMSA**

  
Ph.D. Roberto Miranda Casas  
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía  
Telf. IIAREN 2484647-74016356-73075326

**Figura 29. Resultado del Análisis Físico Químico de Suelos del T4 proporcionado por LAFASA**



## DATOS DEL EXPERIMENTO

### Variables de humedad

#### Capacidad de retención de humedad volumétrica del suelo

#### Humedad volumétrica retenida del suelo por mes:

BLOQUE	TRAT	FEBRERO	MARZO	ABRIL
1	To	7,167	7,545	7,640
1	T1	7,767	7,475	7,280
1	T2	5,370	6,780	6,940
1	T3	7,464	7,606	7,580
1	T4	7,293	7,093	7,440
2	To	7,533	7,650	7,680
2	T1	7,860	7,445	7,960
2	T2	5,610	6,910	4,780
2	T3	7,676	7,711	7,870
2	T4	7,553	7,293	7,600
3	To	7,713	7,565	7,520
3	T1	7,827	7,495	7,240
3	T2	4,560	6,050	4,220
3	T3	7,616	7,414	7,410
3	T4	7,567	7,560	7,180
4	To	7,367	7,405	7,380
4	T1	7,893	7,515	7,580
4	T2	4,810	6,200	5,300
4	T3	7,636	7,446	7,680
4	T4	7,527	7,513	7,480

### Variables agromorfológicas

#### Altura de planta en la cosecha:

Bloques	Tratamientos	ALTURA ramificación (cm)	ALTURA Cosecha (cm)
I	T0	22,04	45,60
I	T1	22,06	40,50
I	T2	20,00	38,54
I	T3	30,10	61,60

I	T4	28,02	51,10
II	T0	16,9	34,54
II	T1	27,74	44,10
II	T2	21,4	39,98
II	T3	29,26	60,04
II	T4	24,56	38,10
III	T0	23,20	40,00
III	T1	19,4	37,16
III	T2	22,4	37,84
III	T3	31,1	56,84
III	T4	19,14	38,18
IV	T0	21,06	35,60
IV	T1	17,66	30,22
IV	T2	24,64	40,04
IV	T3	27,02	55,22
IV	T4	20,76	32,58

**Diámetro de tallo:**

Bloques	Tratamientos	DIAMETRO DE TALLO (cm)
I	T0	0,25
I	T1	0,25
I	T2	0,26
I	T3	0,41
I	T4	0,25
II	T0	0,23
II	T1	0,27
II	T2	0,27
II	T3	0,37
II	T4	0,23
III	T0	0,21
III	T1	0,26

III	T2	0,26
III	T3	0,36
III	T4	0,24
IV	T0	0,22
IV	T1	0,23
IV	T2	0,28
IV	T3	0,37
IV	T4	0,20

### Tamaño de panoja a la madurez

#### Diámetro de panoja:

Bloques	Tratamientos	DIÁMETRO DE PANOJA (cm)
I	T0	1,44
I	T1	1,94
I	T2	1,38
I	T3	2,06
I	T4	1,6
II	T0	1,28
II	T1	1,72
II	T2	1,58
II	T3	1,8
II	T4	1,46
III	T0	1,46
III	T1	1,48
III	T2	1,42
III	T3	1,76
III	T4	1,34
IV	T0	1,54
IV	T1	1,34
IV	T2	1,5
IV	T3	1,94
IV	T4	1,22

**Longitud de panoja:**

<b>Bloques</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>LONGITUD DE PANOJA (cm)</b>
I	T0	4,10
I	T1	5,12
I	T2	4,20
I	T3	8,56
I	T4	5,32
II	T0	3,30
II	T1	4,60
II	T2	4,28
II	T3	7,90
II	T4	3,72
III	T0	4,24
III	T1	3,90
III	T2	3,80
III	T3	7,70
III	T4	3,14
IV	T0	3,38
IV	T1	3,22
IV	T2	3,54
IV	T3	6,46
IV	T4	2,50

**Rendimiento de grano por planta:**

<b>Bloque</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>RENDIMIENTO (g)</b>
I	T0	1,22
I	T1	1,2
I	T2	1,7
I	T3	3,72
I	T4	1,54
II	T0	0,86
II	T1	1,3
II	T2	1,64
II	T3	3,7
II	T4	1,3

III	T0	0,98
III	T1	1,34
III	T2	1,1
III	T3	3,62
III	T4	1,2
IV	T0	0,86
IV	T1	1,16
IV	T2	1,32
IV	T3	3,34
IV	T4	1,08

**Índice de cosecha:**

Bloque	TRATAMIENTO	ÍNDICE DE COSECHA
I	T0	0,5127741935
I	T1	0,5800677583
I	T2	0,7953333333
I	T3	0,6431813788
I	T4	0,5700289234
II	T0	0,6089694516
II	T1	0,5692472849
II	T2	0,7300065381
II	T3	0,6669341832
II	T4	0,6140018315
III	T0	0,5835679449
III	T1	0,6388875598
III	T2	0,5258730159
III	T3	0,6708026795
III	T4	0,6941798942
IV	T0	0,5171561772
IV	T1	0,6821708683
IV	T2	0,5555353733
IV	T3	0,6666696207
IV	T4	0,6388415893

### Peso hectolítrico del grano limpio:

BLOQUES	TRATAMIENTOS	PH (10 cc)
1	T0	8,09434683
1	T1	13,32920537
1	T2	6,204137931
1	T3	7,270084499
1	T4	7,25962241
2	T0	8,523809524
2	T1	6,657309942
2	T2	6,857421564
2	T3	7,159403595
2	T4	7,54871001
3	T0	7,760683761
3	T1	6,727548037
3	T2	5,136630037
3	T3	7,304306506
3	T4	7,41336675
4	T0	7,398989899
4	T1	6,65530303
4	T2	6,051863354
4	T3	7,19509209
4	T4	7,29047619

### Unidades Formadoras de Colonias De Hongos (UFC)

Tratamiento	UFC	UFClog
T0	7200	3,8573325
T0	6400	3,80617997
T0	7800	3,8920946
T0	50000	4,69897
T0	34000	4,53147892
T0	39000	4,59106461
T0	160000	5,20411998
T0	50000	4,69897
T0	130000	5,11394335

T1	7600	3,88081359
T1	8000	3,90308999
T1	7000	3,84509804
T1	28000	4,44715803
T1	27000	4,43136376
T1	28000	4,44715803
T1	30000	4,47712125
T1	90000	4,95424251
T1	50000	4,69897
T2	13200	4,12057393
T2	10900	4,0374265
T2	10700	4,02938378
T2	46000	4,66275783
T2	48000	4,68124124
T2	46000	4,66275783
T2	120000	5,07918125
T2	150000	5,17609126
T2	230000	5,36172784
T3	7400	3,86923172
T3	8500	3,92941893
T3	9100	3,95904139
T3	37000	4,56820172
T3	40000	4,60205999
T3	43000	4,63346846
T3	100000	5
T3	190000	5,2787536
T3	230000	5,36172784
T4	6300	3,79934055
T4	7200	3,8573325
T4	6400	3,80617997
T4	85000	4,92941893
T4	34000	4,53147892
T4	56000	4,74818803
T4	170000	5,23044892
T4	90000	4,95424251
T4	180000	5,25527251