

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



**TESIS DE GRADO**

**CARACTERIZACIÓN DE HONGOS RIZOSFÉRICOS Y  
ENDÓFITOS DEL CULTIVO DE QAÑAHUA (*Chenopodium  
pallidicaule* Aellen) EN EL CENTRO K'HIPAK'HIPANI,  
PROVINCIA INGAVI**

**JEANETTE CHOQUE CHOQUE**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2024**

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

**CARACTERIZACIÓN DE HONGOS RIZOSFÉRICOS Y  
ENDÓFITOS DEL CULTIVO DE QAÑAHUA (*Chenopodium  
pallidicaule Aellen*) EN EL CENTRO K'HIPAK'HIPANI,  
PROVINCIA INGAVI**

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

**JEANETTE CHOQUE CHOQUE**

**ASESORES:**

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

Ing.MSc. Fernando Pacasa Quisbert .....

**TRIBUNAL EXAMINADOR:**

Ing. Milton Indalicio Macias Villalobos .....

Ing. William Alex Murillo Oporto .....

Ing. MSc. Freddy Antonio Cadena Miranda .....

**APROBADA**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL EXAMINADOR** .....

LA PAZ – BOLIVIA

## **DEDICATORIA**

A mis padres Simón Choque Choquehuanca y Esperanza Choque Pari con todo mi cariño y afecto, por su apoyo, sacrificio, comprensión y confianza en todo momento, haciendo posible mi formación profesional. A mis hermanos Dora, Jesús y Beymar. por su orientación, apoyo y cariño constante e incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A dios por mostrarme el camino y otorgarme la oportunidad de lograr una carrera profesional.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía y la Carrera de Ingeniería Agronómica, por la formación profesional, impartida por docentes, auxiliares y administrativos.

A la Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA), por abrirme las puertas y brindarme todo el apoyo necesario para esta investigación.

Agradecer a si mismo, la colaboración por el laboratorio de Fitopatología, y muy especialmente al Ing. Ph. D. Cruz quién en todo momento se brindó a facilitar todos los recursos necesarios para realizar el trabajo de investigación.

Mi más profunda gratitud al Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores, por la orientación, asesoramiento, comprensión y apoyo incondicional para la realización del presente trabajo en campo, en el análisis e interpretación de datos.

Mi sincero agradecimiento a Ing.Msc. Fernando Pacasa Qusbert por su colaboración, asesoramiento, comprensión para la realización del presente trabajo en laboratorio.

Agradecimientos a todos mis amigos y compañeros: Deysi, Silvia, Ruth y Franklin.

Muchas gracias

JEANETTE CHOQUE CHOQUE

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>X</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICACIÓN .....	2
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	3
2.3 HIPÓTESIS.....	3
2.3.1 Hipótesis nula .....	3
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
3.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA QAÑAHUA EN BOLIVIA .....	3
3.1.1 Clasificación taxonómica de la qañahua .....	4
3.1.2 Hábito de crecimiento .....	4
3.1.3 Descripción botánica de la Qañahua.....	5
3.1.3.1 Raíz.....	5
3.1.3.2 Tallo.....	6
3.1.3.3 Hojas .....	6
3.1.3.4 Inflorescencia .....	7
3.1.3.5 Flores .....	7
3.1.3.6 Fruto.....	7
3.1.4 Fases fenológicas del cultivo de qañahua .....	7
3.1.5 Requerimiento del cultivo .....	8
3.1.5.1 Clima .....	8
3.1.5.2 Suelo .....	9
3.1.6 Importancia del cultivo de Qañahua .....	9
3.1.6.1 Valor nutricional de la Qañahua.....	9
3.2 EL SUELO.....	11

3.3	COMUNIDADES MICROBIANAS DEL SUELO.....	11
3.3.1	La rizósfera .....	12
3.3.2	Microorganismos en la rizósfera.....	14
3.3.3	Microorganismos endófitos .....	14
3.3.4	Hongos .....	15
3.3.5	Hongos endófito .....	16
3.3.6	Nutrición y factores de crecimiento de la población microbiana.....	17
3.4	INTERACCIONES MICROBIANAS .....	17
3.5	BENEFICIOS DE LOS HONGOS RIZOSFÉRICOS PARA LAS PLANTAS.....	18
3.6	BENEFICIOS DE LOS HONGOS ENDÓFITOS PARA LAS PLANTAS .....	18
<b>4.</b>	<b>MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>19</b>
4.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	19
4.2	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	20
4.2.1	Clima.....	20
4.2.2	Temperatura .....	20
4.2.3	Precipitación (mm) .....	21
4.2.4	Riesgos climáticos .....	21
4.2.5	Fisiografía .....	21
4.2.6	Suelos.....	22
4.2.7	Vegetación .....	22
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
5.1	MATERIALES.....	24
5.2	METODOLOGÍA.....	25
5.2.1	Obtención de muestras .....	25
5.2.2	Aislamiento de hongos rizosféricos y endófitos .....	26
5.2.2.1	Aislamiento de hongos rizosféricos.....	26
5.2.2.2	Aislamiento de hongos endófitos .....	27
5.2.2.3	Caracterización de hongos rizosféricos y endófitos .....	28
5.2.2.4	Cuantificación de hongos rizosféricos y endófitos.....	28
5.2.2.5	Análisis de la diversidad de hongos rizosféricos y endófitos .....	29
5.2.2.5.1	Frecuencia de colonización .....	29
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
6.1	RESULTADOS Y DISCUSIONES PARA LAS VARIABLES TOMADAS EN LABORATORIO.....	30
6.1.1	Propiedades físicas, químicas y biológicas .....	30

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS ENDÓFITOS Y RIZOSFÉRICOS EN ECOTIPOS DE QAÑAHUA (SAIWA, LAST'A Y PAMPALASTA) .....	30
6.2.1 Caracterización de hongos endófitos .....	33
6.2.1.1 Género: Cladosporium sp. ....	33
6.2.1.2 Género: Cyllindrocladium sp. ....	35
6.2.1.3 Género : <i>Penicillium</i> sp. ....	36
6.2.1.4 Género: Fusarium sp. ....	38
6.2.1.5 Género : <i>Fusarium</i> sp. ....	40
6.2.1.6 Género : Gliocladium sp. ....	41
6.2.1.7 Género : Sepedonium sp. ....	43
6.2.1.8 Género : Sarocladium sp. ....	45
6.2.1.9 Género : Alternaria sp. ....	47
6.2.1.10 Género : <i>Ulocladium</i> sp. ....	49
6.2.2 Caracterización de hongos rizósferico.....	51
6.2.2.1 Género: Penicillium sp. ....	51
6.2.2.2 Género : Penicillium sp. ....	53
6.2.2.3 Género: <i>Penicillium</i> sp. ....	55
6.2.2.4 Género : <i>Mucor</i> sp. ....	56
6.2.3 Cuantificación de hongos rizosféricos y endófitos en ecotipos del cultivo de Qañahua .....	58
6.2.3.1 Cuantificación de hongos rizosféricos.....	58
6.2.3.2 Cuantificación de hongos endófitos .....	60
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1:</b> VALOR NUTRITIVO DE LA QAÑAHUA .....	<b>10</b>
<b>CUADRO 2:</b> ESPECIES VEGETALES .....	<b>23</b>
<b>CUADRO 3:</b> HONGOS RIZOSFÉRICOS Y ENDÓFITOS IDENTIFICADOS EN LOS ECOTIPOS DEL CULTIVO DE QAÑAHUA.....	<b>31</b>
<b>CUADRO 4:</b> ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE HONGOS RIZOSFÉRICOS (UFC/G DE SUELO). .....	<b>59</b>
<b>CUADRO 5 :</b> ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE HONGOS ENDÓFITOS (UFC/G DE SUELO). .....	<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> A) SAIWA B) LAST´A C) PAMPALASTA .....	5
<b>FIGURA 2:</b> A) ROMBOIDAL B) TRIANGULAR C) ANCHA OVADA .....	6
<b>FIGURA 3:</b> FASES FENOLÓGICAS .....	8
<b>FIGURA 4:</b> FUNDACIÓN PROINPA - ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE K'IPHAK'IPHANI .....	20
<b>FIGURA 5:</b> EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DEL SUELO (PROFUNDIDAD DE 0,25-0,30 CM) CON AYUDA DE UNA PALA.....	26
<b>FIGURA 6:</b> SELLADO DE LAS CAJAS PETRI CON EL MEDIO DE CULTIVO Y LAS MUESTRAS. ....	27
<b>FIGURA 7:</b> FRECUENCIA DE COLONIZACIÓN DE HONGOS RIZOSFÉRICOS Y ENDÓFITOS EN LA RAÍZ EN LOS ECOTIPOS DEL CULTIVO DE QAÑAHUA.	32
<b>FIGURA 9:</b> A. CONIDIÓFOROS MARRÓN OLIVO RAMIFICADO B. CONIDIOS EN CADENAS ACRÓPETAS.....	34
<b>FOTOGRAFÍA 10:</b> A. COLONIA CIRCULAR CON BORDES IRREGULARES, DE COLORACIÓN PLOMIZO AL CENTRO CON BORDES DE COLOR BLANCO. B. REVERSO COLOR NEGRO.....	35
<b>FIGURA 11:</b> CONIDIÓFOROS RAMIFICADOS PORTANDO MASAS DE ESPORAS. ....	36
<b>FIGURA 12:</b> A. ANVERSO FORMA CIRCULAR IRREGULAR DE COLOR VERDE B. REVERSO ROSA PÁL.IDO .....	37
<b>FIGURA 13:</b> A. CONIDIÓFOROS RAMIFICADOS (PENICILADOS) B. CONIDIOS GLOBOSOS.....	38
<b>FIGURA 14:</b> A. ANVERSO: COLORACIÓN BLANCA Y TEXTURA ALGODONOSA. B. REVERSO: COLOR CREMA.....	39
<b>FIGURA 15:</b> MONOFIÁLIDE SIMPLE CORTA. ....	40
<b>FIGURA 16:</b> A. ANVERSO: TEXTURA ALGODONOSA, COLORACIÓN PURPURA. B. REVERSO: COLORACIÓN ROJIZO CLARO.....	40
<b>FIGURA 17:</b> A. CÉLULAS CONIDIÓGENAS SON MONOFIÁLIDES,.....	41
<b>FIGURA 18 :</b> A. ANVERSO: COLOR BLANCO B. REVERSO: COLOR AMARILLO NARANJA. ....	42

<b>FIGURA 19:</b> A. CONIDIÓFORO PRIMARIO B. CONIDIÓFORO PENICILADO, CONIDIOS DE FORMA CILÍNDRICA.....	<b>43</b>
<b>FIGURA 20:</b> A. ANVERSO: TEXTURA ALGODONOSA, PRESENTAN EXUDACIÓN, FORMACIÓN DE DOS DE ANILLOS EN LOS BORDES COLORACIÓN PLOMO CON ESTRÍAS Y AL CENTRO COLOR AMARILLO. B. REVERSO: FORMA IRREGULAR, COLORACIÓN NEGRO. ....	<b>44</b>
<b>FIGURA 21:</b> A. CONIDIÓFOROS CORTOS Y GLOBOSOS.....	<b>45</b>
<b>FIGURA 22:</b> A. LA SUPERFICIE DE COLOR BLANCO, TEXTURA ALGODONOSA B. REVERSO COLOR AMARILLO.....	<b>46</b>
<b>FIGURA 23:</b> A. CONIDIOS ELIPSOIDES, CORTOS.....	<b>46</b>
<b>FIGURA 24:</b> A. TEXTURA LANOSA, LA SUPERFICIE ES DE COLOR GRIS B. REVERSO ES COLOR NEGRO.....	<b>48</b>
<b>FIGURA 25:</b> A.CONIDIÓFOROS MARRÓN PÁLIDO, RAMIFICADO, CONIDIOS CATENULADOS.....	<b>49</b>
<b>FIGURA 26:</b> A. ANVERSO: COLOR NEGRO, MARRÓN Y BLANCO. B. REVERSO: COLOR NEGRO.....	<b>50</b>
<b>FIGURA 27:</b> MICELIO SEPTADO, CONIDIA ELÍPTICA, 3 TABIQUES TRANSVERSALES Y 2 TABIQUES LONGITUDINALES.....	<b>51</b>
<b>FIGURA 28:</b> A. ANVERSO COLONIA CIRCULAR COLOR VERDE CON ESTRÍAS. B. REVERSO COLOR CAFÉ CON ESTRÍAS.....	<b>52</b>
<b>FIGURA 29:</b> A. CONIDIÓFOROS CON RAMAS SECUNDARIAS B. CADENAS LARGAS SIN RAMIFICAR DE CONIDIOS.....	<b>53</b>
<b>FIGURA 30 :</b> A. ANVERSO COLORACIÓN BLANCO A CREMA DE TEXTURA ALGODONOSA CON SURCOS DE FORMA RADIAL. B. REVERSO COLOR CREMA, PRESENTA LEVEMENTE SURCOS .....	<b>54</b>
<b>FIGURA 31:</b> CONIDIÓFOROS CORTOS, NO SEPTADOS, PRESENTA 3 MÉTULAS.....	<b>54</b>
<b>FIGURA 32:</b> A. ANVERSO PRESENTA SURCOS EN FORMA RADIAL, COLORACIÓN BLANCA, PLOMA Y NEGRA. B. REVERSO COLOR CREMA.....	<b>55</b>
<b>FIGURA 33:</b> A. CONIDIÓFOROS CORTOS, NO SEPTADOS, PRESENTA 3 MÉTULAS.....	<b>56</b>
<b>FIGURA 34:</b> A. TEXTURA ALGODONOSA, COLOR BLANCO, BEIS Y PLOMO. B. REVERSO: AMARILLO NARANJA.....	<b>57</b>
<b>FIGURA 36 :</b> PROMEDIO DE UFC/G DE HONGOS RIZOSFÉRICOS.....	<b>59</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MUESTRAS DE SUELOS. ....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO 2: PREPARACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO PAPA AGAR GLUCOSADO .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO 3: MUESTRAS DE LA RAÍZ PARA EL AISLAMIENTO DE HONGOS ENDÓFITOS.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO 4: HONGOS RIZOSFÉRICOS Y ENDÓFITOS.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO 5: HONGOS NO IDENTIFICADOS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO 6: ECOTIPOS DEL CULTIVO DE QAÑAHUA .....</b>	<b>75</b>

## RESUMEN

Los hongos rizosféricos y endófitos llevan a cabo diversos procesos como mejoramiento de la disponibilidad y absorción de nutrientes, descomposición de la materia orgánica, protección frente a fitopatógenos, entre otros, aspectos que hacen necesario el conocimiento de hongos rizosféricos y endófitos que se encuentran asociadas a un cultivo.

El presente estudio " Caracterización de hongos rizosféricos y endófitos del cultivo de Qañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) en el Centro K'hipak'hipani, provincia Ingavi", tuvo el objetivo de caracterizar hongos rizosféricos y endófitos asociados a ecotipos Lasta, Saiwa y Pampalasta, con este fin, se tomaron muestras de la raíz y suelo rizosférico de plantas seleccionadas aleatoriamente. Posteriormente, para las muestras de suelo rizosférico se hicieron diluciones seriadas para el aislamiento de hongos rizosféricos; para el aislamiento hongos endófitos se cultivaron en cajas petri pequeñas secciones de raíces esterilizadas (0,5-1,0 cm). Los principales resultados obtenidos fue el aislamiento de 22 morfotipos, de los cuales solo 14 morfotipos se logró caracterizar a nivel de género (10 hongos endófitos y 4 hongos rizosféricos). El hongo rizosférico con mayor frecuencia de colonización en los tres ecotipos Saiwa, Last'a y Pampalasta fue el género *Penicillium sp.*. Y en los hongos endófitos el hongo con mayor frecuencia de colonización fue *Fusarium sp.* en el ecotipo Last'a, en el ecotipo Saiwa fue el género *Sarocladium sp.* y en el ecotipo Pampalasta el género *Penicillium sp.*. Para la cuantificación de hongos rizosféricos es diferente en los ecotipos Last'a, Saiwa y Pampalasta, con la prueba de medias Duncan se pudo observar que los ecotipos Pampalasta y Saiwa obtuvieron los mayores promedios de  $2.90 \times 10^4$  ufc/g, siendo sus promedios significativamente superiores. 9En el caso de los hongos endófitos no se encontró diferencias significativas, pero los promedios que obtuvieron fue  $1.43 \times 10^8$  ufc/g.

**Palabras claves:** Eco tipos Saiwa, Last'a , Pampalasta, rizosfera, endófito, método.

## ABSTRACT

Rhizospheric and endophytic fungi carry out various processes such as improving the availability and absorption of nutrients, decomposition of organic matter, protection against phytopathogens, among others, aspects that make it necessary to know the rhizospheric and endophytic fungi that are associated with a crop.

The present study "Characterization of rhizosphere fungi and endophytes of the Cañahua crop (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) in the K'hipak'hipani Center, Ingavi province", had the objective of characterizing rhizosphere fungi and endophytes associated with Lasta, Saiwa and Pampalasta ecotypes, For this purpose, root and rhizospheric soil samples were taken from randomly selected plants. Subsequently, for the rhizospheric soil samples, serial dilutions were made for the isolation of rhizospheric fungi; For the isolation of endophytic fungi, small sections of sterilized roots (0.5-1.0 cm) were cultured in petri dishes.

The main results obtained were the isolation of 22 morphotypes, of which only 14 morphotypes were characterized at the genus level (10 endophytic fungi and 4 rhizospheric fungi). The rhizosphere fungus with the highest colonization frequency in the three ecotypes Saiwa, Last'a and Pampalasta was the genus *Penicillium* sp. And in the endophytic fungi the fungus with the highest colonization frequency was *Fusarium* sp. in the Last'a ecotype, in the Saiwa ecotype it was the genus *Sarocladium* sp. and in the Pamapalasta ecotype the genus *Penicillium* sp..

For the quantification of rhizospheric fungi, it is different in the Last'a, Saiwa and Pampalasta ecotypes. With the Duncan mean test it was observed that the Pampalasta and Saiwa ecotypes obtained the highest averages of cfu/g, their averages being significantly higher.

In the case of endophytic fungi, no significant differences were found.

**Keywords:** Ecotypes Saiwa, Last'a, Pampalasta, rhizosphere, endophyte, method.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Qañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), es un cultivo pariente de la Quinoa, que se originó en los Andes altos de América del Sur. Su cultivo, se concentra principalmente en las regiones altiplánicas del Perú y Bolivia. Se adapta a condiciones extremas agroclimáticas, pudiendo prosperar en condiciones de baja precipitación (150 mm/anales), y en suelos de pobre fertilidad y alta salinidad. Esta alta variabilidad genética de adaptación, también se manifiesta en una amplia variedad de fenotipos, que le confiere al cultivo una gran diversidad de usos culinarios e industriales. Debemos destacar que este cultivo es altamente resiliente al cambio climático y es característico de la agricultura familiar en las regiones mencionadas (Gimenez *et al.*, 2017).

La zona del suelo que está influenciada por las raíces se conoce como rizósfera, siendo el motor del sistema suelo-planta (Pedraza *et al.*, 2010). Dado el suministro de nutrientes que proviene de la rizósfera (principalmente carbohidratos), es una región de intensa biomasa y actividad microbiana. Por lo tanto, esta región es un entorno extremadamente competitivo en el que un grupo diverso de microorganismos no sólo compiten por el agua, el oxígeno y los nutrientes, sino también por un nicho. Una función importante de los microorganismos que se encuentran en la rizósfera es mejorar los mecanismos de defensa de las plantas, ya que ésta zona, también proporciona un hábitat para organismos fitopatógenos, incluidas varias especies de bacterias, hongos y nemátodos.

Los hongos pertenecen a uno de los ecosistemas más importantes y abundantes de la biósfera, su origen tiene millones de años, al igual que las plantas y animales. Sus interacciones con plantas cambiaron la ecología terrestre, la geología y la modificación de la atmósfera en la tierra (Barbee *et al.*, 2017)

Ha sido ampliamente demostrado que los microorganismos del suelo interactúan con las raíces de las plantas y constituyentes del suelo en la interfase raíz-suelo. Este gran conjunto de interacciones entre suelo, raíces y microorganismos da lugar al desarrollo

de un ambiente dinámico conocido como rizósfera, donde una variedad de formas microbianas pueden desarrollarse activamente y en equilibrio.

Los microorganismos endófitos colonizan los tejidos internos de las plantas, sin causar ningún efecto negativo inmediato o daño aparente, allí establecen diversas interacciones entre las cuales se encuentra el comensalismo, donde uno de los intervinientes obtiene un beneficio, mientras el otro no se perjudica, ni se beneficia, de igual manera, hacen parte del renombrado grupo de organismos simbioses donde junto con su hospedero (planta) se benefician mutuamente. Las bacterias y hongos al colonizar endofíticamente los tejidos de las plantas obtienen un suministro confiable de nutrientes y protección contra el estrés ambiental.

Pacasa (2020) destaca que en una revisión de investigaciones de la propiedad biológica del suelo y microbiología agrícola en Bolivia, la información es escasa y se atribuye a la pobre línea base y conocimiento de la biología del suelo en el país.

Este estudio fue realizado para caracterizar los hongos rizosféricos y endófitos presentes en el cultivo de cañahua en ecotipos Last'a, Saiwa y Pampalasta, como una primera aproximación al conocimiento de los microorganismos asociados a este cultivo.

## **1.1 Justificación**

La rizósfera es la parte del suelo inmediata a las raíces, tal que al extraer una raíz, es aquella porción de tierra que queda adherida a la misma; se considera también como la porción del suelo en la que están las raíces de las plantas. Este medio es una región de intensa actividad biológica. En la rizósfera por lo tanto se concentran una gran cantidad de microorganismos, muchos de los cuales pueden ser beneficiosos y a la vez potencialmente patógenos.

Los granos andinos por sus características agronómicas y de adaptabilidad ecológica a las condiciones adversas de la zona andina, así como por su alto valor nutritivo, no solo tienen importancia económica sino también tienen gran importancia social, ecológica, nutricional y funcional (real y potencial) (IPGRI, PROINPA e IFAD, 2005).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Caracterizar hongos rizosféricos y endófitos del cultivo de Qañahua (*Chenopodium Pallidicaule Aellen*) en el centro K'hipak'hipani, provincia Ingavi

### **2.2 Objetivo específico**

- Caracterizar la diversidad hongos rizosféricos en tres ecotipos del cultivo de Qañahua (Saiwa, Last'a y Pampalasta).
- Caracterizar la diversidad hongos endófitos en tres ecotipos del cultivo de Qañahua (Saiwa, Last'a y Pampalasta).
- Cuantificar los hongos endófitos y rizosféricos de tres ecotipos del cultivo de Qañahua (Saiwa, Last'a y Pampalasta).

### **2.3 Hipótesis**

#### **2.3.1 Hipótesis nula**

**Para el objetivo específico tres:**

- No existe diferencia en la cuantificación de hongos endófitos y rizosféricos en los tres ecotipos del cultivo de qañahua.

## **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Origen y distribución geográfica de la qañahua en Bolivia**

El centro de origen del cultivo de qañahua es el área circunlacustre del Lago Titicaca entre Perú y Bolivia. En Bolivia se considera como subcentro de origen a las provincias de San Pedro de Totora y Nor Carangas de Oruro, y las provincias Independencia, Tapacari y Bolívar de Cochabamba. En Perú se considera como subcentro de origen la zona de Cupi-Macari en la provincia Melgar, departamento de Puno (Rojas *et al.*, 2010).

La distribución geográfica de la qañahua en Bolivia, se la cultiva en el departamento de La Paz, en la provincia de Pacajes, las regiones más altas de la provincia Omasuyos y alrededor de Independencia en el departamento de Cochabamba. En el Perú en las poblaciones de Llalli, Macari, Ayaviri, Nuñoa y Huancané en el departamento de Puno (Tapia 1997).

### **3.1.1 Clasificación taxonómica de la Qañahua**

Según Apaza (2010) plantea que la Qañahua corresponde a la siguiente clasificación taxonómica:

Clase: Dicotyledoneae

Sub clase: Archichlamydeae

Orden: Centrospermales

Familia: Chenopodiáceae

Género: Chenopodium

Especie: Chenopodium pallidicaule Aellen

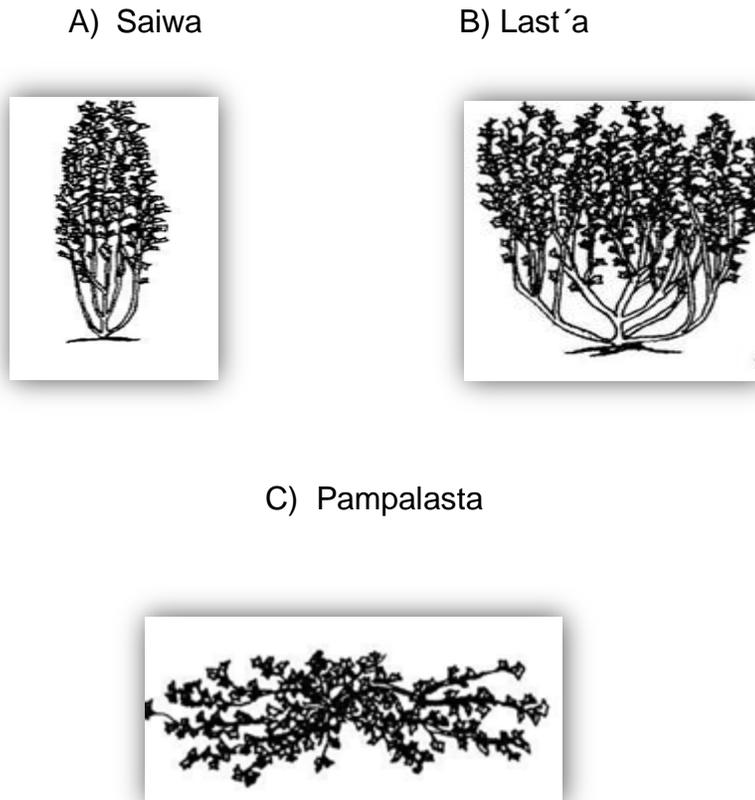
Nombre común: Qañahua, Kañiwa, Cañahua.

### **3.1.2 Hábito de crecimiento**

La planta de Qañahua tiene tres tipos de crecimiento:

- ✓ Saiwa : Presenta ramificaciones escasas y dan la apariencia de ser más erectas, estrechas y con menor diámetro.
- ✓ Lastía : Sus ramificaciones son numerosas y se inician desde el cuello de la planta dando apariencia frondosa y con mayor diámetro .

- ✓ Pampalasta : Sus tallos se presentan caídos o tendidos en los cuales solo sus extremos son erguidos.



**Figura 1: A) Saiwa B) Last'a C) Pampalasta ( IPGRI, PROINPA e IFAD, 2005)**

### **3.1.3 Descripción botánica de la Qañahua**

#### **3.1.3.1 Raíz**

La raíz es pivotante, relativamente profunda de 13 a 16 cm, con escasa ramificación principal y numerosas raicillas laterales, varían del color blanco cremoso al rosado pálido (Apaza, 2010).

### 3.1.3.2 Tallo

Apaza (2010), menciona que el tallo de la Qañahua es hueco, estriado y ramificado desde la base de la planta. El color del tallo en la madurez fisiológica varía de acuerdo a la variedad o ecotipo que puede ser de color amarillo claro, verde amarillento, verde agua, verde claro, verde oscuro, crema suave, crema oscura, anaranjada, roja, café claro, café oscuro, púrpura pálido, púrpura oscuro.

### 3.1.3.3 Hojas

Según Tapia y Frías (2007), las hojas son alternas con peciolo cortos y finos, presentan tres nervaduras bien marcadas en la cara inferior que se unen en la inserción del peciolo, tienen forma de rombo con láminas engrosadas.

La forma de lámina foliar es: romboidal, triangular y ancha ovada (IPGRI, PROINPA e IFAD, 2005). Con peciolo cortos de 10 a 12 mm, con bordes entero o dentados, las hojas contienen vesículas con cristales de oxalato de calcio higroscópicos que controlan la excesiva transpiración en condiciones muy secas (Apaza, 2010).

A) Romboidal B) Triangular C) Ancha ovada



**Figura 2: A) Romboidal B) Triangular C) Ancha Ovada (IPGRI, PROINPA e IFAD, 2005).**

### **3.1.3.4 Inflorescencia**

Las inflorescencias son pequeñas, axilares o terminales, cubiertas totalmente por el follaje que las protege del efecto de las bajas temperaturas (Tapia y Frías, 2007).

Las inflorescencias son de tipo glomérulos, cimosas axilares o terminales, cubiertas por hojas terminales que las protegen de las temperaturas bajas (Apaza, 2010).

Las inflorescencias albergan 3 clases de flores que son de tipo 10 hermafroditas, femeninas y androestériles, distribuidas en forma irregular en toda la inflorescencia y solamente la flor hermafrodita con 3 estambres está presente en la parte apical de la inflorescencia (Cano, 1973).

### **3.1.3.5 Flores**

Las flores son sésiles cuando recién empiezan a florecer y con presencia de pedicelo bastante notorio después de producirse la fecundación, tornándose más pronunciado a medida que van madurando los frutos (Cano, 1973).

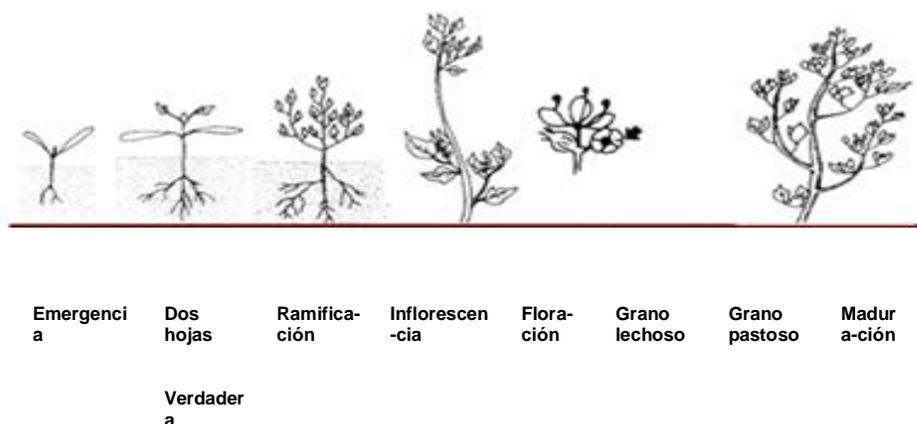
### **3.1.3.6 Fruto**

Tapia y Fries (2007), mencionan que el fruto está cubierto por el perigonio de color generalmente gris, el pericarpio es muy fino y traslúcido. La semilla es muy pequeña de 1 a 1,2 mm y de color castaño claro, oscuro o negro con el episperma muy fino.

## **3.1.4 Fases fenológicas del cultivo de Qañahua**

- ✓ **Emergencia:** Aparición de los cotiledones sobre la superficie del suelo.
- ✓ **Dos hojas verdaderas:** Aparecen las dos primeras hojas verdaderas extendidas.
- ✓ **Ramificación:** Se inicia el desarrollo de las ramas secundarias, las cuales aparecen en la base de la planta, en forma opuesta.

- ✓ **Inflorescencia:** Aparecen las primeras inflorescencias en la rama principal de la planta.
- ✓ **Floración:** Se abren las primeras flores de la inflorescencia.
- ✓ **Grano lechoso:** Los granos al ser presionados presentan un líquido lechoso.
- ✓ **Grano Pastoso:** Los granos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco.
- ✓ **Maduración:** Las plantas adquieren una coloración amarillenta, caso contrario ocurre la dehiscencia de la semilla; momento de efectuar la cosecha (SENAMHI, 2011).



**Figura 3: Fases fenológicas (SENAMHI, 2011)**

### 3.1.5 Requerimiento del cultivo

#### 3.1.5.1 Clima

La Qañahua es resistente al frío, pudiendo germinar a temperaturas de 5°C y florecer a los 10°C; las semillas maduran a los 15°C y las plantas adultas son resistentes al frío nocturno; pero puede resistir ambientes relativamente cálidos, alrededor de 25°C, si cuenta con la humedad necesaria (BIOPAT, 2018).

### **3.1.5.2 Suelo**

La Qañahua por tener raíces cortas se desarrolla en terrenos con capas delgadas y se pueden cultivar en suelos con un pH que varía entre los 4,8 y 8,5, mostrando cierta tolerancia a la salinidad (BIOPAT, 2018).

### **3.1.6 Importancia del cultivo de Qañahua**

#### **3.1.6.1 Valor nutricional de la Qañahua**

Es importante por el contenido de aminoácidos esenciales como lisina, triptófano y arginina; además de un alto contenido de hierro y magnesio. Tiene también un alto contenido proteico que puede aprovecharse en las dietas escasas en carnes. Esta calidad proteica en combinación con un contenido de carbohidratos del orden del 60% y aceites vegetales del orden del 8%, la hacen altamente nutritiva; además, contiene vitamina E y complejo B; y los granos están libres de gluten (BIOPAT, 2018).

Contiene niveles altos de nutrientes debido a la presencia de aminoácidos esenciales y minerales tales como hierro y zinc. A pesar de sus bondades agronómicas de la planta y calidad nutritiva de su grano, la Qañahua es un cultivo marginal en un sistema de producción de subsistencia.

Otros estudios reportan que la cañahua posee 63– 66% de carbohidratos, 15–18% de proteínas, 6–8% de lípidos y 3–4% de cenizas (Repo-Carrasco *et al.*, 2003). También es rica en micronutrientes, tales como hierro y calcio (Repo-Carrasco *et al.*, 2009).

**Cuadro 1: Valor nutritivo de la Qañahua**

COMPONENTE	MÍNIMO	MÁXIMO
% Proteína	12.76	19
%Grasa	2.11	14.50
% Fibra	5.45	11.12
% Ceniza	3.12	5.77
% Carbohidratos	45.72	67.70
% Humedad	4.68	14.70
Energía (Kcal/100 g)	324.54	396.42
Granulo de almidón	5.50	38.00
% Azúcar invertido	5.00	35.00
% Agua de empaste	9.00	39.00

Fuente: Granos Andinos (Rojas et al.,2010)

### **3.2 El suelo**

El suelo se define como una mezcla de material mineral, material orgánico, agua y aire, posee propiedades físico, químico y biológico (Plaster, 2000). También Villarreal *et al.* (2012), menciona que el suelo es un fundamento de los ecosistemas terrestres, sustento no solamente de las coberturas vegetales que hacen posible la vida sobre el planeta, sino base fundamental de la producción de alimentos en el mundo.

Orsag (2010), menciona que es importante recordar que el suelo permite satisfacer las necesidades del hombre y cumplir su siguiente rol en la naturaleza:

- Obtención de alimentos de origen vegetal.
- Producción de forrajes para disponer de alimentos de origen animal.
- Disponer de madera para construcción y otros usos.
- Producción de plantas textiles para su vestimenta.
- Leña para obtener energía o cultivos para la producción de biocombustible.
- Producción de plantas medicinales y otros usos terapéuticos.
- Reservorio de agua (el suelo juega un papel importante en el ciclo del agua en la naturaleza, debido a que permite almacenarla en forma temporal).
- Filtro de diferentes procesos físico-químicos y biológicos.
- Amortigua el efecto de los contaminantes, gracias a sus propiedades coloidales.

### **3.3 Comunidades microbianas del suelo**

El suelo constituye un ecosistema muy diverso e importante en el planeta (Estrade *et al.* 2010) y los componentes vivos desarrollan funciones que integran al suelo y aumentan la interacción dentro del sistema con los demás organismos, por lo tanto cuanto mayor sea el número de microorganismos que vivan en el suelo, mayor interacción habrá con

los organismos superiores (Acosta 2006). Las poblaciones microbianas tienen influencia sobre la nutrición de las plantas y su estado sanitario, como también contribuyen con la estructura y fertilidad del suelo (Rillig y Lehmann, 2016).

El suelo es un medio que encierra gran variedad de Bacterias, Actinomicetos y Hongos; es uno de los sitios más dinámicos en interacciones biológicas en la naturaleza, porque en él se realizan la mayor parte de las reacciones bioquímicas involucradas con la descomposición de la materia orgánica, la desintegración de rocas y la movilización de nutrientes indispensables para el crecimiento de las plantas.

### **3.3.1 La rizósfera**

El término rizosfera fue por primera vez utilizado a finales del siglo XIX por Hiltner, agrónomo alemán que empleó esta palabra para hacer referencia al efecto de las raíces de leguminosas sobre el suelo próximo respecto a una mayor actividad microbiana causada por la liberación de materia orgánica desde las raíces. Hasta las últimas décadas del pasado siglo ese efecto, no pasó a considerarse como un ecosistema, si bien es cierto, poco conocido fuera de los círculos científicos especializados en este. En ese sentido, se ha considerado a la rizosfera como the hidden half, of the hidden half (Bowen y Rovira, 1991), es decir, la mitad oculta, de la raíz, que es a su vez, la mitad oculta de las plantas.

La rizósfera es un nicho ecológico único, que modula la composición y estructura de las comunidades microbianas asociadas a ella, a través de las interacciones de las plantas: exudados de la raíz, propiedades físicas y químicas del suelo, entre otros (Mendes *et al.* 2013), Martínez (2020) define que la rizósfera es el volumen del suelo que está bajo influencia física, química y biológica de las raíces de las plantas.

En la rizósfera las propiedades físicas y químicas del suelo tienen gran influencia sobre la población microbiana. El nivel de humedad en esta zona afecta directa o indirectamente la colonización microbiana y esta a su vez presenta efectos sobre el desarrollo de planta. Las células ubicadas en la superficie de la raíz experimentan

cambios por el potencial de agua disponible, con una baja cantidad de agua la movilidad y difusión de nutrientes puede verse reducida y hay una influencia drástica en el desarrollo microbiano. Por el contrario un exceso en el nivel de agua no es necesariamente benéfico, porque al elevarse el porcentaje el espacio del poro por donde se filtra el agua se llena completamente y por consiguiente la calidad de oxígeno disponible se puede limitar.

Es en la rizosfera donde se producen las interacciones entre microorganismos y raíces de las plantas. Las simbióticas, por ejemplo, son aquellas en las que se está vínculo directo entre los microorganismos y la planta por la necesidad que tiene cada uno de ellos para desarrollarse. En las asociativas, los beneficios son tanto para la planta como para los microorganismos. Las relaciones rizosféricas, también conocidas como de vida libre, son aquellas en las que la actividad de los microorganismos genera múltiples beneficios indirectos en la planta. Y por último, están las interacciones endófitas, en las que los microorganismos y las plantas establecen en la mayoría de los casos relaciones de sinergia e intercambio de nutrientes (Symborg, 2010).

Una detallada revisión del papel de los exudados en las interacciones rizosféricas se hace en Bais et al. (2006). Entre las funciones que tienen los exudados radicales podemos destacar:

- Protección contra patógenos, mediante algunos compuestos, como las fitoalexinas..
- Protección contra elementos tóxicos
- Reducción de la competencia: algunos compuestos exudados por las plantas modifican el suelo rizosférico con sustancias fitoactivas (los denominados aleloquímicos) que impiden la germinación y proliferación de las semillas de otras plantas.
- Adquisición de nutrientes, como por ejemplo, los sideróforos de los que se hablará más adelante.
- Adquisición de agua: esta función esta a cargo de los mucigeles, que modifican la estructura del suelo rizosférico facilitando la retención de agua.

- Establecimiento de relaciones simbióticas: existen compuestos en los exudados que provocan reacciones de acercamiento (quimiotaxis) en algunas bacterias.
- Selección de microorganismos, el tipo de exudación es responsable del tipo de microorganismos que habitan en la rizosfera, seleccionando aquellos que pueden serles útiles.

### **3.3.2 Microorganismos en la rizósfera**

Un gran número de especies de microorganismos están presentes en la rizósfera, generalmente este número disminuye cuando aumenta la distancia a la raíz. El tamaño de la población microbiana de la rizósfera se determina por la intensidad de enraizamiento de la planta, el ritmo de crecimiento de propágulos microbianos en el suelo y el de su desplazamiento hacia la raíz, así como la velocidad de crecimiento de las microcolonias, que a su vez dependen de los sustratos solubles presentes. El desplazamiento de los microorganismos hacia la raíz depende del tamaño del propágulo y de las reservas que contiene, así como de su dinámica poblacional (Barea *et al.*, 2005).

### **3.3.3 Microorganismos endófitos**

La palabra “endófito” se refiere a cualquier organismo (sea bacteria u hongo), que se encuentra asociado internamente a tejidos vegetales sin causar daño aparente (Petrini, 1991). Y también Martínez (2010), menciona que los microorganismos endófitos son bacterias y hongos que colonizan los tejidos internos (raíz, hojas y tallos) de las plantas sin causar enfermedades y reforzar su tolerancia a condiciones adversas para su desarrollo.

### 3.3.4 Hongos

Son importantes degradadoras aeróbicas del material vegetal en descomposición en suelos ácidos. Producen enzimas y metabolitos que contribuyen al ablandamiento y a la transformación de sustancias orgánicas. La rizósfera están pobladas de hongos que aprovechan las exudaciones radiculares constituidas por azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, nucleótidos, enzimas, vitaminas y sustancias promotores de crecimiento.

En el medio ambiente edáfico, los hongos son importantes porque son los principales agentes de descomposición de la materia orgánica. Degradan moléculas complejas como la celulosa, hemicelulosa, pectina, almidón y lignina. Son fuente de alimento para otros organismos, pueden ser agentes patógenos de plantas, degradan residuos de las cosechas y son agentes bióticos que mejoran la estructura y aireación del suelo por la formación de agregados. Los saprófitos son relativamente especializados en la producción de enzimas.

Según Sylvia et al. (1998), la abundancia y la actividad fisiológica de la carga fúngica en diferentes hábitats varía considerablemente. Tanto los diversos géneros presentes como el tamaño de la flora cambian con el tipo de suelo y con sus características físicas y químicas. Los principales factores que influyen sobre la comunidad de hongos son: el estado de la materia orgánica, presencia de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, concentración de ión hidrógeno, aireación, temperatura, humedad y composición de la vegetación, entre otros.

Los géneros cultivables que se encuentran con frecuencia en el suelo, usando métodos convencionales de aislamiento son *Mucor sp.*, *Chaetomium sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Trichoderma sp.*, *Verticillium sp.*, *Rhizoctonia sp.* y *Rhizopus sp.*

Según Zamora (2014), menciona que los géneros de hongos más importantes asociados a las raíces de las plantas son *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Rhizopus sp.* y *Trichoderma sp.* El *Aspergillus* y *Penicillium* movilizan el Fósforo y Nitrógeno del suelo.

### 3.3.5 Hongos endófito

Los endófitos se definen como microorganismos que viven durante todo o parte de su ciclo de vida dentro de los tejidos de plantas vivas sin ocasionar ningún síntoma o efecto negativo en su planta hospedera .

Existen relaciones simbióticas entre hongos endofíticos y una amplia variedad de plantas. La colonización de hongos endófitos puede generar beneficios para la planta hospedera, incluyendo la actividad antagonista y la inducción de resistencia contra patógenos, así como la promoción de crecimiento mediante la secreción de fitohormonas y la movilización de nutrientes de la rizósfera hacia la planta (Harman *et al.*, 2004). Excluyendo las micorrizas (Kari Saikkonen *et al.*, 2004), porque algunas asociaciones micorrízicas deforman la raíz, permitiendo detectar los síntomas de su colonización a simple vista.

González- Teuber (2016), describe que existe una diversidad relativamente alta de hongos endófitos en las raíces de la quinua, donde la comunidad de hongos estaba dominada solo por *Ascomycota*, *Penicillium sp*, *Phoma sp* y *Fusarium sp*.

Otro ejemplo que podemos mencionar es el caso de la Familia *Clavicipitaceaea*, son hongos endófitos que protegen a la planta contra la depredación de semillas, mediante producción de toxinas, a cambio estos hongos reciben alimento, un lugar donde vivir y se dispersan a través de la semilla de su hospedero.

Los microorganismos endófitos tienen distintos mecanismos de transmisión y estilos de vida simbiótica. Los patógenos latentes representan un subgrupo relativamente pequeño dentro de las microbiotas endofíticas asociadas a especies vegetales, también compuestas por saprófitos latentes y mutualistas. Algunos endófitos son generalistas, capaces de infectar a numerosas especies vegetales, mientras que otros son especialistas que sólo infectan a una o unas pocas especies (Zabalgogea 2008). En entornos desérticos, las comunidades de hongos endófitos suelen ser diversas . Se ha propuesto que las condiciones heterogéneas de los ecosistemas desérticos pueden

ser responsables de la gran diversidad de comunidades de hongos en estos hábitats . Teniendo en cuenta el aumento de la evidencia que muestra que los hongos endófitos mejoran la tolerancia a las condiciones de sequía , la asociación de plantas de quinua con una variedad de hongos podría ser de crucial importancia para su supervivencia en las condiciones ambientales extremas.

### **3.3.6 Nutrición y factores de crecimiento de la población microbiana**

Las raíces de las plantas excretan varias sustancias orgánicas dentro de la rizósfera, estas sustancias proporcionan una excelente y variada fuente de nutrientes para la comunidad microbiana. La composición de los exudados varía con el tipo de suelo y el estado de desarrollo en el que se encuentre la semilla y la raíz. Es difícil determinar cuáles compuestos son realmente exudados y cuales son liberados por lisis de las células de la raíz. Algunos compuestos exudados que podemos mencionar son carbohidratos, aminoácidos, vitaminas, taninos y otros. Por ejemplo los azúcares proporcionados dentro de estas secreciones son fuente indispensable de carbono para el crecimiento microbiano. Los aminoácidos secretados en esta zona dependen del tipo de planta y son la fuente de nitrógeno disponible para los microorganismos.

### **3.4 Interacciones microbianas**

Desde el punto de vista de interacciones con la planta, los microorganismos de la rizósfera pueden ser saprófitos, simbioses parasíticas y simbioses mutualistas. Los saprófitos utilizan compuestos orgánicos procedentes de residuos animales, vegetales y microbianos. Los simbioses parasíticas infectan la raíz y otros órganos de la planta causando enfermedades. Los simbioses mutualistas, o simplemente simbioses, colonizan las raíces donde se encuentran compuestos carbonados, benefician el desarrollo y nutrición de la planta aportando minerales. Dentro de estos mutualistas se ubican también los microorganismos no simbioses los cuales contribuyen con actividades benéficas (Sylvia *et al.*, 1998).

El conjunto de interacciones que benefician a la planta se conoce como efecto rizosférico. Tal efecto comienza a manifestarse justo después de la germinación de las semillas, para alcanzar su máximo durante la floración y fructificación y en la senescencia decrece de una manera acelerada.

### **3.5 Beneficios de los hongos rizosféricos para las plantas**

Las interacciones rizosféricas y los microorganismos rizosféricos. Recordemos que son los que tienen la capacidad de cumplir la totalidad de su ciclo de vida de forma totalmente independiente de la planta. Los microorganismos no se ven perjudicados ni beneficiados, mientras las plantas obtienen nutrientes.

La actividad de los microorganismos rizosféricos facilita la circulación de nutrientes, agua y sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal, lo que sin duda repercute en el desarrollo de las plantas.

Además, estos microorganismos fijan nitrógeno atmosférico, reducen formas nitrogenadas, solubilizan fosfatos insolubles y movilizan cationes. También mejoran la resistencia a condiciones de estrés hídrico y suelos salinos y aumentan la resistencia al ataque de hongos patógenos que podrían generar enfermedades en las plantas. Además, la actividad de los microorganismos rizosféricos enriquece la estructura y la calidad de los suelos, entre una larga lista de beneficios. De esta forma, se obtienen plantas más fuertes y más productivas (Symborg,2010).

### **3.6 Beneficios de los hongos endófitos para las plantas**

Los hongos endófitos poseen una gran importancia debido a que gracias a los beneficios que otorgan a las plantas, pueden ayudar a la obtención de diferentes compuestos medicinales y a la disminución de las pérdidas de cultivos por factores bióticos y abióticos (Dinesh, 2017).

La resistencia a factores abióticos otorgada por los endófitos se da por diferentes posibles mecanismos aún no totalmente demostrados, la sequía es el principal factor abiótico al cual otorgan resistencia los endófitos, por la mejora del ajuste osmótico de la

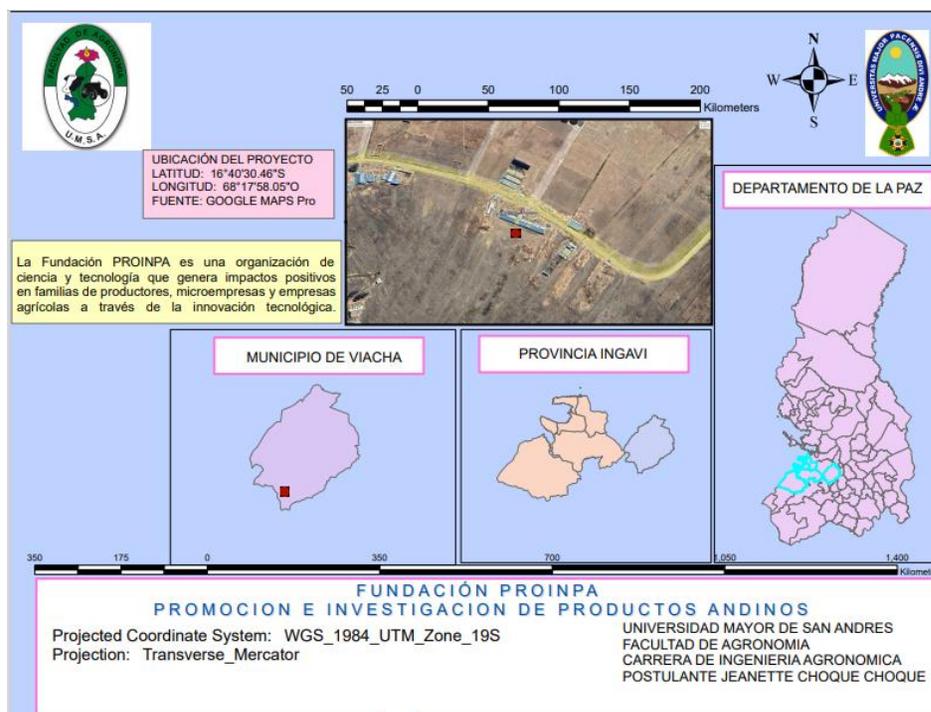
planta. El ajuste osmótico es el principal mecanismo de adaptación de la planta al estrés hídrico, en el que los solutos celulares se acumulan en respuesta al déficit hídrico. El menor potencial osmótico resultante permite la retención de la presión de la turgencia celular, que es necesaria para el crecimiento celular y el mantenimiento metabólico (Bacon 2018). Básicamente lo que ocurre en condiciones de sequía, es que debido al endófito ocurre una mayor acumulación de solutos en los tejidos de plantas infectadas en comparación con las no infectadas, también disminuye la conductividad foliar, demostrando que ocurre una desaceleración del flujo de transpiración y se da la formación de una cutícula más gruesa (Malinowskiy, 2000). Los posibles mecanismos para la mejora del ajuste osmótico son: acumulación de carbohidratos en la zona de elongación de la planta, secreción de polioles que otorgan protección a las enzimas y membranas de las células de la planta. También se sugiere que el endófito induce una clase de estrés incipiente que de alguna manera genera una precondición o sensibiliza al hospedero en la época de sequía, lo que permite que la planta muestre respuestas de adaptación antes de percibir el estrés.

#### **4. MARCO REFERENCIAL**

##### **4.1 Ubicación geográfica**

La investigación se realizó en la gestión agrícola 2020 – 2021 en los predios de la estación experimental de K'iphak'iphani, perteneciente a la Fundación PROINPA (Promoción e investigación de Productos Andinos), se ubica en la comunidad Charahuayto, municipio de Viacha, provincia Ingavi, departamento de La Paz – Bolivia, ubicada geográficamente entre las coordenadas 16° 39' 47'' latitud sur y 68° 18' 16'' latitud oeste y con una altitud de 3880 msnm.

El análisis microbiológico de las muestras de suelo se efectuó en el laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía, ubicada en la calle Héroes del Acre, esquina Av. Landaeta.



**Figura 4: Fundación PROINPA - Estación Experimental de K'iphak'iphani (ARGIS 2022).**

## 4.2 Características climáticas de la zona de estudio

### 4.2.1 Clima

El clima en el Municipio de Viacha se encuentra fuertemente influenciado por la altitud (4.000 m); factor que afecta notablemente a las temperaturas. Esta zona climática está enmarcada por la alternancia de una estación seca (invierno) y una estación húmeda de cuatro meses (verano).

### 4.2.2 Temperatura

Las temperaturas máximas absoluta a lo largo del año varían entre 17,2-20,6°C, las máximas temperaturas se presentan en el mes de agosto hasta diciembre llegando un

máximo de 22°C en diciembre del 2014 y la mínima que se registró en los últimos años fue de -7,5°C en julio del 2014 (PDM Viacha, 2017).

#### **4.2.3 Precipitación (mm)**

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 (PDM Viacha, 2017).

#### **4.2.4 Riesgos climáticos**

Los fenómenos climáticos naturales que se registran en estas comunidades, perjudican la producción agrícola, como las heladas que causan pérdidas acentuándose en los meses de Junio, Julio y parte de Agosto, los efectos de las lluvias torrenciales en los meses de Diciembre hasta Marzo, los vientos fuertes erosionan los suelos (erosión eólica), el efecto de las nevadas provoca mortandad en los animales (ovinos) y resfríos en los seres humanos, las granizadas se dan en los meses de Octubre, Noviembre y Febrero, ocasionando una pérdida parcial o total de la producción agrícola (PDM Viacha, 2012).

#### **4.2.5 Fisiografía**

El relieve del territorio municipal, presenta una compleja formación de unidades de terreno como: Montañas, serranías, colinas, laderas, piedemonte y llanuras. La disección varía de moderada a muy fuerte, donde las pendientes son fuertemente escarpadas con 30 a 60%, hasta moderadamente escarpadas con 15%. Existe gran cantidad de piedra superficial. El material a partir del cual han sido modeladas las serranías es preponderantemente de origen sedimentario, como areniscas, lutitas, limonitas y arcillitas, con intercalaciones de rocas metamórficas como cuarcitas (PDM Viacha, 2012).

#### 4.2.6 Suelos

Los diferentes suelos han sido un producto de la acción de diferentes formaciones geológicas que de acuerdo a la textura se identifican en suelos francos arenosos en la parte baja y suelos pedregosos en la parte alta. Los suelos son normalmente muy poco permeables en todo el perfil. Químicamente los suelos se caracterizan por la saturación de base alta y muy alta, con reacción neutra a muy alcalina, lo que significa que se encontraron suelos salinos con PH próximos a nueve (PDM Viacha, 2011).

#### 4.2.7 Vegetación

La zona presenta una diversidad de especies vegetales naturales, las predominantes se encuentran mencionadas en el cuadro 2.



*Baccharis boliviensis*



*Muhlenbergia fastigiata*

**Cuadro 2: Especies vegetales**

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO
Especies caducifolias	
Thola	<i>Baccharis boliviensis</i>
Tara Tara	<i>Fabiana densa</i>
Especies perennifolias	
Ñaka Thola	<i>Baccharis spp</i>
Thola de agua	<i>P.phyllicaeformis</i>
Añahuaya	<i>Adesmia miraflorensis</i>
Gramíneas	
Iru ichu	<i>Festuca orthophylla</i>
Chillhua	<i>Festuca dolichopylla</i>
Chiji negro	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>
Layu	<i>Trifolium amabile</i>
Cebadilla	<i>Bromus catharticus</i>

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Materiales**

#### a) Material genético

El material biológico estuvo constituido por raíces con suelo adherido de los ecotipos Lasta, Saiwa y Pampalasta que fueron proporcionadas por la fundación PROINPA.

#### b) Material de laboratorio

- Cajas Petri
- Tubos de ensayo
- Matraz Erlenmeyer
- Pipeta
- Micropipetas
- Probetas
- Vasos Precipitados
- Tamiz 2 mm
- Porta y cubre objetos
- Aza microbiológica
- Incubadora
- Balanza electrónica
- Autoclave
- Microscopia
- Estufa eléctrica
- Alcohol
- Medio de cultivo sintético
- Cloranfenicol

- Agua destilada estéril
- Muestras de suelo

c) Material de gabinete

- Cuaderno de notas
- Computadora
- Programas estadísticos

## **5.2 Metodología**

### **5.2.1 Obtención de muestras**

Para la obtención de las muestras de raíces y suelo rizosférico de *Chenopodium pallidicaule* A., se seleccionó 5 plantas vigorosas y con ayuda de una pala se retiró el suelo hasta una profundidad de 0,25 a 0,30 m para alcanzar las raíces, estas junto con el suelo rizosférico adherido se depositaron en bolsas de polietileno debidamente identificadas y se transportaron en una caja térmica hacia el laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés.

Las muestras de raíces y suelo rizosférico se deshidrataron bajo sombra durante 72 horas y a continuación las raíces se golpearon suavemente contra la mano para desprender el suelo rizosférico el cual fue colectado en un papel kraft (Vardharajula *et al.*, 2011).



**Figura 5: Extracción de muestras del suelo (profundidad de 0,25-0,30 cm) con ayuda de una pala**

## **5.2.2 Aislamiento de hongos rizosféricos y endófitos**

### **5.2.2.1 Aislamiento de hongos rizosféricos**

El medio de cultivo que se utilizó para el recuento y aislamiento fue Papa glucosado Agar (PGA).

Se utilizó la técnica Dilución de Placas para el aislamiento y el conteo UFC, se pesó 10 g de suelo tamizado y posteriormente fue introducido a un matraz Erlenmeyer conteniendo 90 ml de agua destilada estéril, se agitó por cinco minutos, posteriormente con micropipetas de 1 ml fue diluido en cada tubo de ensayo conteniendo 9 ml de agua destilada estéril obteniendo diluciones de 1:10, 1:100 y 1:1000 respectivamente. Cada dilución se esparció 0,1 ml sobre la superficie del medio de cultivo en cajas Petri con tres repeticiones, finalmente se llevó las placas Petri a incubación por tres a siete días a 22<sup>o</sup>C para posterior recuento de colonias y obtención de cultivos puros.

### 5.2.2.2 Aislamiento de hongos endófitos

Las raíces primarias y secundarias se lavaron con agua corriente para eliminar los restos del suelo y luego se esterilizó la superficie con etanol (70%) durante tres minutos, hipoclorito de sodio (1%) durante un minuto, seguido de tres enjuagues en agua destilada durante tres minutos. Posteriormente, se cultivaron pequeñas secciones de raíces esterilizadas (1 cm) en placas petri con el medio de cultivo papa glucosado agar. Luego, las placas Petri se incubaron a temperatura ambiente durante 4 semanas. Después de los periodos de incubación, se observó el crecimiento de diferentes colonias de microorganismos y de acuerdo al color y forma de las colonias, se utilizó una aza bacteriológica para extraer proporciones pequeñísimas de las colonias y se colocaron al medio de cultivo definitivo (PGA), los aislamientos puros fueron incubados de cuatro días y un mes respectivamente.



**Figura 6: Sellado de las cajas Petri con el medio de cultivo y las muestras.**

### **5.2.2.3 Caracterización de hongos rizosféricos y endófitos**

Para la caracterización de los hongos rizosféricos y endófitos se realizó la identificación taxonómica con la técnica microcultivo, posteriormente se observó al microscopio las estructuras de las esporas de los hongos y se tomó fotografías del micelio y estructuras reproductivas. Las fotografías obtenidas de la técnica de microcultivo fueron comparadas con la literatura de claves taxonómicas descritas por autores; Cepero de García, *et al.*, (2012); Watanabe (2010). Aquellos microorganismos no identificados fueron denominados “cepas no identificadas”.

Para la descripción de las colonias se evaluó el aspecto general de la colonia como: tamaño, pigmentación, forma, borde, elevación y superficie. La forma de la colonias se visualizó mediante los criterios: puntiforme, circular, irregular, filamentoso, rizoide (entero, ondulado, lobulado; que tiene formas redondas grandes y pequeñas, ramificado y rizado). En los bordes, de aspecto plano, elevado, convexo, pulvinada (con elevación esférica), umbilicada (elevaciones pequeñas pero redondas) (Pedrique-Gutierrez *et al.*, 2008). Para la identificación de texturas se registraron, si eran algodonoso, aterciopelado, polvoroso, apetalada, friable, compacta, liso, brillante, corrugado. También se registró si el aislado producía algún pigmento (Ornadelli *et al.*, 2012; Pedrique-Gutierrez *et al.*, 2008; Guevara *et al.*, 2007).

### **5.2.2.4 Cuantificación de hongos rizosféricos y endófitos**

El análisis estadístico para comprobar la hipótesis del tercer objetivo específico, fue el diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones por tratamiento (Saiwa, Lasta y Pampalasta), donde el modelo lineal según Ochoa (2008) es:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = una observación cualquiera

$\mu$  = media poblacional

$\alpha_i$  = efecto del  $i$  – ésimo “tipo de suelo” “tipo de cultivo” “tipo de vegetación nativa”

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

La cuantificación de las colonias de hongos rizosféricos y endófitos, se realizó pasado los días de incubación, fueron enumerados en aquellas cajas Petri con 20 a 300 colonias y empleando la ecuación de recuento en placa se expresó en UFC  $g^{-1}$  para posterior análisis estadístico. Para las UFC se realizó la transformación a raíz cuadrada de los números observados (Ochoa, 2008) para el posterior análisis estadísticos. La prueba de medias que se utilizó fue DUNCAN con nivel de significancia del 5%.

#### **5.2.2.5 Análisis de la diversidad de hongos rizosféricos y endófitos**

##### **5.2.2.5.1 Frecuencia de colonización**

Para la frecuencia de colonización se realizó el cálculo con la siguiente formula:

$$F = \frac{N \text{ col}}{N \text{ total}} \times 100.$$

Dónde: N col. representa el número de segmentos colonizados por cada hongo; N total es el número total de segmentos (Suryanarayanan et al., 2001).

## **6. RESULTADOS**

### **6.1 Resultados y discusiones para las variables tomadas en laboratorio**

#### **6.1.1 Propiedades físicas, químicas y biológicas**

De acuerdo a los análisis de suelos realizados por el Laboratorio de suelos LAFASA (anexo 1). La textura de suelo fue de Franco Arenoso. El pH del suelo fue de 6,68 se encuentra en el rango óptimo para el cultivo. La conductividad eléctrica fue de 0.04 mmho/cm nos indica que es un suelo no salino. La materia orgánica fue de 1,26 % indica que existe baja materia orgánica.

#### **6.2 Caracterización de la diversidad de hongos endófitos y rizosféricos en ecotipos de Qañahua (Saiwa, Last'a y Pampalasta)**

Las raíces de las plantas pueden estar altamente colonizadas por hongos endófitos y rizosféricos, esto parece ser importante para la supervivencia de las plantas que habitan en hábitats estresantes (Gonzalez-Teuber,2016). Este estudio se centró en caracterizar la diversidad que existe en la comunidad fúngica rizosférica y endofítica en ecotipos del cultivo de Qañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen).

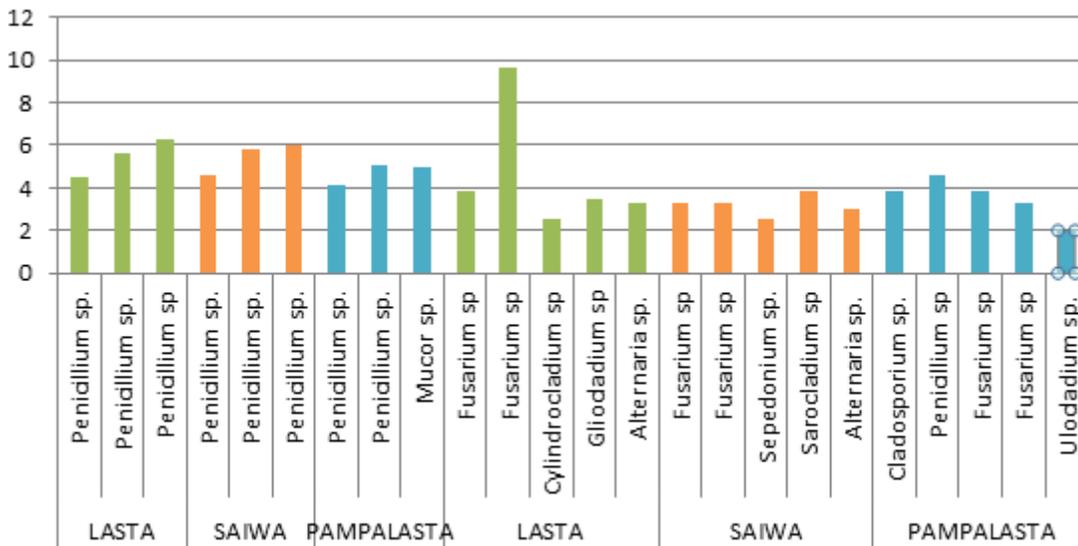
El cuadro 14 muestra la lista de hongos aislados en los ecotipos de Qañahua. El total de hongos rizosféricos y endófitos obtenidos fue de 22 especies en cultivos puros, fueron comparados con descripciones originales de acuerdo a sus características morfológicas vistas al microscopio. Aquellos hongos no identificados fueron denominados cepas no identificadas.

Se identificaron 14 hongos a nivel de género y 7 hongos que no fue posible su identificación. La identificación de los microorganismos presentes en la rizósfera pueden reflejar las condiciones del cultivo y los microorganismos encontrados refleja la salud de un ecosistema (Ariana et al., 2006).

**Cuadro 3: Hongos rizosféricos y endófitos identificados en los ecotipos del cultivo de Qañahua.**

CÓDIGO	GÉNERO	ECOTIPOS		
		Last'a	Saiwa	Pampalasta
1-T6 EN	<i>Cladosporium sp.</i>			X
2-T2 EN	<i>Cylindrocladium sp.</i>	x		
3-T6 EN	<i>Penicillium sp.</i>			X
4-T5 EN	<i>Fusarium sp.</i>	x	x	X
5-T6 EN	<i>Fusarium sp.</i>	x	x	X
6-T2 EN	<i>Gliocladium sp.</i>			X
7-T4 EN	<i>Sepedonium sp.</i>		X	
8-T4 EN	<i>Sarocladium sp.</i>		X	
9-T5 EN	<i>Alternaria sp.</i>	x	X	
10-T5EN	<i>Ulocladium sp.</i>			X
11-T4RI	<i>Penicillium sp.</i>	x	X	
12-T2RI	<i>Penicillium sp.</i>	x	X	X
13-T1RI	<i>Penicillium sp.</i>	X	X	X
14-T6RI	<i>Mucor sp.</i>			X

**Figura 7: Frecuencia de colonización de hongos rizosféricos y endófitos en la raíz en los ecotipos del cultivo de Qañahua.**



La información que muestra la Figura 7, es que los 14 hongos identificados pertenecen al género Ascomycota, siendo la frecuencia de colonización en hongos rizosféricos la siguiente : *Penicillium sp.*(4,5%), *Penicillium sp.* (5,6%) y *Penicillium sp.* (6,3 %) presentes en el ecotipo Last'a; *Penicillium sp.* (4,6%), *Penicillium sp.* (5,8 %) y *Penicillium sp.* (6%) presentes en el ecotipo Saiwa; *Penicillium sp.*(4,1%), *Penicillium sp.* (5,1%), *Mucor sp.* (5 %) presentes en el ecotipo Pampalasta.

En los tres ecotipos diferentes géneros de *Penicillium sp.* con una mayor frecuencia de colonización (6,3 %), según Visagie et al.(2014) menciona que el género *Penicillium sp.* es frecuente encontrarlos en diferentes ambientes (suelos,vegetación,etc.), de acuerdo con la investigación realizada por Pacasa (2015) quien encontró una mayor diversidad en *Penicillium sp.* coincide con esta investigación.

En hongos endófitos la frecuencia de colonización fue la siguiente: *Fusarium sp.*(3,8%), *Fusarium sp.* (9,6 %), *Cylindrocladium sp.* (2,5%), *Gliocladium sp.* (3,5%) y *Alternaria sp.* (3,3%) presentes en el ecotipo Last'a; *Fusarium sp.* (3,3%), *Fusarium sp.*(3,3%), *Sepedonium sp.*(2,5%), *Sarocladium sp.*(3,8%) y *Alternaria sp.* (3%) presentes en el ecotipo Saiwa; *Cladosporium sp.* (3,8%), *Penicillium sp.*(4,6 %), *Fusarium sp.*(3,8%), *Fusarium sp.* (3,3%) y *Ulocladium sp.* (2%) presentes en el ecotipo Pampalasta.

Según González-Teuber (2016) los hongos endófitos asociados a la planta de quinua son *Penicillium* sp., *Phoma* sp. y *Fusarium* sp., géneros que coinciden con el cultivo de qañahua, Ali-Shtaych *et al.* (1998) menciona que *Penicillium* sp. se utiliza como controlador biológico de *Fusarium oxysporum* en el cultivo de tomate.

## 6.2.1 Caracterización de hongos endófitos

### 6.2.1.1 Género: *Cladosporium* sp.

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Ascomycetes

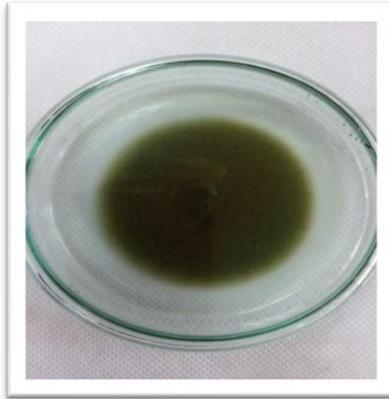
Orden: Dothideales

Familia: Mycosphaerellaceae

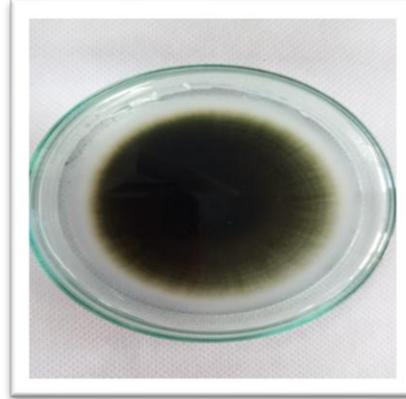
El género *Cladosporium* sp. se encuentra asociado al ecotipo Pampalasta, los miembros de este género, algunos cosmopolitas, se distribuyen en un gran número de especies. Se encuentran en el suelo, desechos vegetales, o como endófitos (Cepero de Garcia *et al.*, 2012). No ha sido especificado que beneficios puede tener este hongo al actuar como endófito, solo se ha reportado la posibilidad de que este hongo actúa como saprófito latente (Sanchez *et al* 2007). Por otra parte Gandarillas *et al.* (2014), menciona que en el cultivo de quinua este hongo se presenta como un moho verde, afectando hojas en las fase de maduración de las plantas, ocasionándoles cierto grado de defoliación y que necesita de alta humedad relativa del aire en las hojas en los meses de marzo y abril; indica también que es importante la presencia del inóculo en el campo de cultivo, porque se disemina fácilmente por el viento y probablemente es un habitante frecuente en muchos suelos de cultivo.

Características macroscópicas: Las colonias en papa glucosado agar alcanzo un diámetro de 6 a 7 cm en 7 días a 21°C , tiene forma circular, color olivo-grisáceo, del reverso color marrón oliváceo, aterciopelados, no presenta exudado (figura 8) .

A.



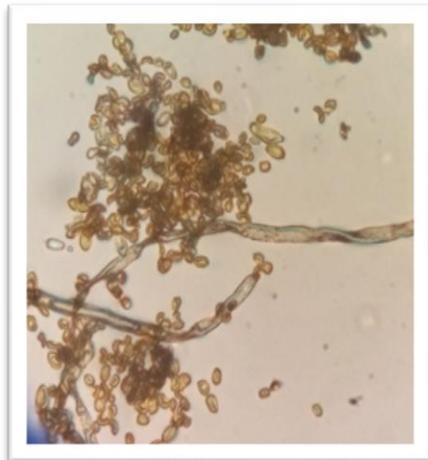
B.



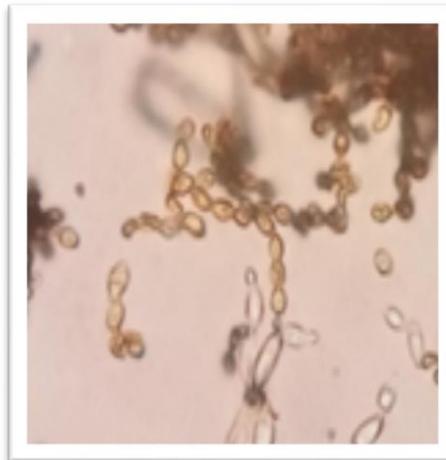
**Figura 8: A. Anverso color olivo grisáceo B. Reverso color marrón oliváceo.**

Características microscópicas: Conidióforos marrón olivo ramificado de donde se origina los conidios en cadenas acrópetas; los conidios que se ubican en la base de la cadena son más grandes; los conidios de la parte superior de las cadenas son elipsoides (Cepero de Garcia *et.al.*, 2012) .

A.



B.



**Figura 9: A. Conidióforos marrón olivo ramificado B. Conidios en cadenas acrópetas.**

### 6.2.1.2 Género: *Cylindrocladium* sp.

Reino: *Fungi*

Phyllum: *Ascomycota*

Clase: *Sordariomycetos*

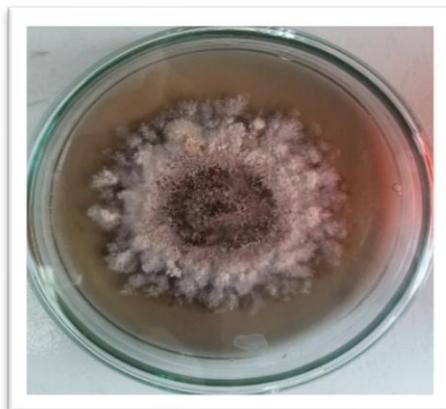
Orden: *Hypocreales*

Familia: *Nectriaceae*

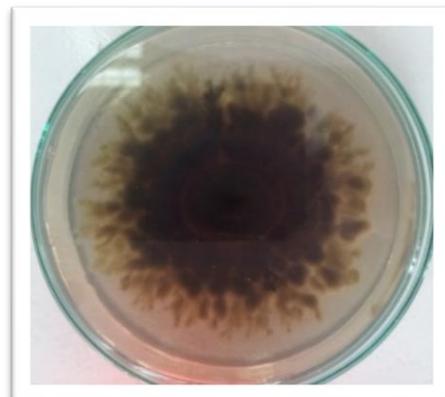
El género *Cylindrocladium* sp. se aisló en el ecotipo Saiwa, en la investigación realizada por Muñoz Zapata et al. (2018) observaron relaciones antagónicas con los géneros *Nigrospora* sp. y *Cylindrocladium* sp. contra *Fusarium* sp. impidiendo su crecimiento.

Características Macroscópicas: Las colonias en Papa Glucosado Agar alcanzo un diámetro de 7 cm en 7 días a 25°C con una humedad de 75%, tiene forma circular irregular algodonosa, color plumizo en el centro y blanquecino en los bordes, formación de exudado color amarillento. En el reverso color negro .

**A.**

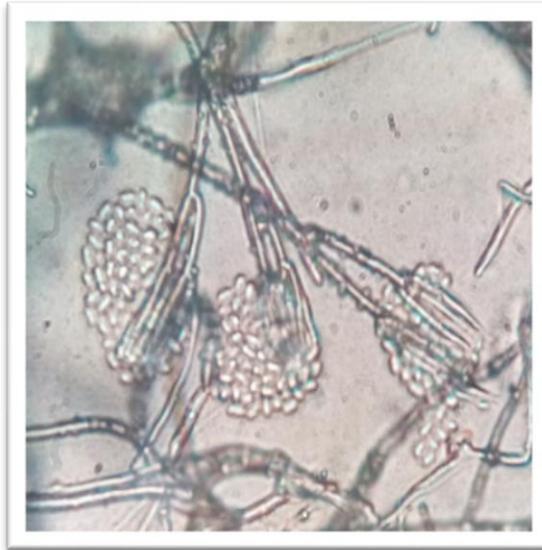


**B.**



**Fotografía 10: A. Colonia circular con bordes irregulares, de coloración plumizo al centro con bordes de color blanco. B. Reverso color negro.**

Características Microscópicas: Conidióforos erectos, ramificados una o dos veces verticiladamente en las partes centrales, ramas primarias y secundarias alargadas, portando masas de esporas en las fiálidas, terminales en las ramas respectivas, con estípites y vesícula terminal; vesícula claviforme .



**Figura 11: Conidióforos ramificados portando masas de esporas.**

#### **6.2.1.3 Género :*Penicillium sp.***

Reino: *Fungi*

Phylum: *Ascomycota*

Orden: *Eurotiales*

Familia: *Trichomaceae*

En el ecotipo Pamapalasta se halló el género *Penicillium sp.*, este género es vasto y la mayoría de sus especies son saprófitos presentes en el suelo o están asociados a materia vegetal en estado de senescencia. Hay estudios en otros tipos de plantas en las cuales se han demostrado específicamente los beneficios de endófitos de *Penicillium*,

por ejemplo, en plantas de soya, en las cuales se aumentó la resistencia a condiciones de estrés salino y la producción de isoflavonas (Khan et al 2011). Gracias a esta información es posible afirmar que la probabilidad de que el género hallado en la muestra se encuentre actuando como endófito es alta y que este pueda otorgarle beneficios a su hospedero. Un segundo ejemplo lo da Gozalez-Teuber (2012), que aisló a *Penicillium* en las raíces de la quinua donde menciona que la asociación de plantas con endófitos de *Penicillium* puede ayudar a las plantas a resistir el estrés por salinidad y mejorar el crecimiento de las plantas

Características Macroscópicas: La colonia alcanzo un diámetro de 8 cm en 9 días a 25°C, tiene forma circular irregular de color verde, textura polvorienta. Reverso rosado pálido .

**A.**



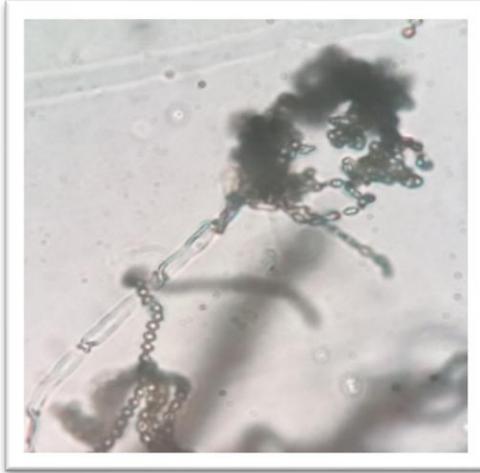
**B.**



**Figura 12: A. Anverso forma circular irregular de color verde B. Reverso rosa pálido.**

Características Microscópicas: Conidióforos ramificados (penicilados), con métula y ramas. Conidios globosos a subglobosos formando cadenas basípetas .

A.



B.



**Figura 13: A. Conidióforos ramificados (penicilados) B. Conidios globosos.**

#### **6.2.1.4 Género: *Fusarium* sp.**

Reino: *Fungi*

Phylum: *Ascomycota*

Orden: *Hypocreales*

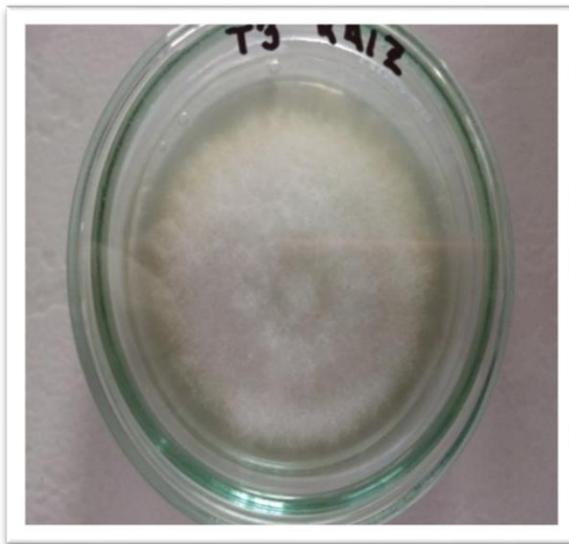
Familia: *Nectriaceae*

La presencia de dos géneros de *Fusarium* sp. en los tres ecotipos Saiwa, Last'a y Pampalasta, puede ser beneficiosa, así como puede ser riesgosa, esto dependiendo de la especie de *Fusarium* que se encuentre infectando a la planta, hay evidencia de especies que pueden beneficiar a la planta, así como especies que actúan como patógenos latentes con la capacidad de causar una enfermedad en cualquier momento. *Fusarium* es un género de hongos que es capaz de comportarse como saprófito latente

y tiene una alta persistencia en los suelos, gracias a esto su transmisión horizontal y su inoculación en nuevos hospederos es muy efectiva (Sánchez et al 2012). En el presente estudio no es posible determinar cuál es el tipo específico de *Fusarium* que se encuentran infectando a los tres ecotipos del cultivo de cañahua, estos bien pueden ser hongos endófitos benéficos como pueden ser patógenos latentes que aún no han causado enfermedad y se encuentran intercelularmente en el tejido vegetal.

Características Macroscópicas: Las colonias en Agar Papa Glucosado a temperatura ambiente, en 22 días alcanzo un diámetro de 9 cm. Coloración blanca, de textura algodonosa. Reverso color crema.

**A.**



**B.**



**Figura 14: A. Anverso: coloración blanca y textura algodonosa. B. Reverso: color crema.**

Características Microscópicas: Micelio hialino, septado y delgado. Monofiálide simple corta .

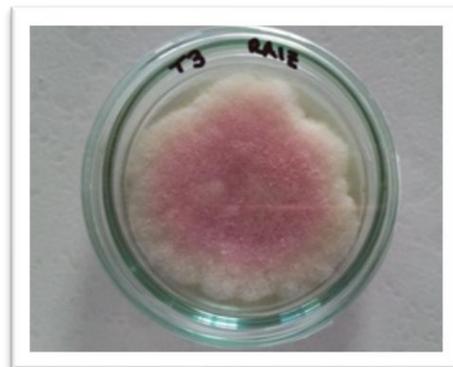


**Figura 15: Monofiálide simple corta.**

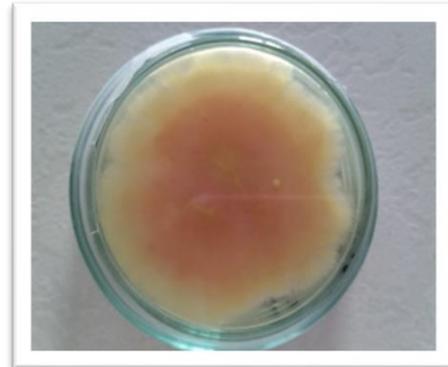
#### 6.2.1.5 Género : *Fusarium sp.*

Características Macroscópicas: En medio de cultivo papa agar glucosado (PAG) las colonias tuvieron un crecimiento rápido, textura algodonosa, micelio aéreo blanco que usualmente se vuelve purpura. Reverso rojizo claro .

**A.**

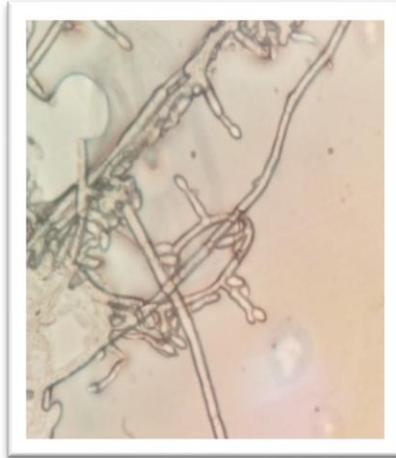


**B.**



**Figura 16: A. Anverso: Textura algodonosa, coloración purpura. B. Reverso: Coloración rojizo claro.**

Características Microscópicas: Las células conidiógenas son monofiálides, más cortas .



**Figura 17: Células conidiógenas son monofiálides,**

#### **6.2.1.6 Género : Gliocladium sp.**

Reino: *Fungi*

Phylum: *Ascomycota*

Orden: Hypocreales

Familia: Ranunculáceae

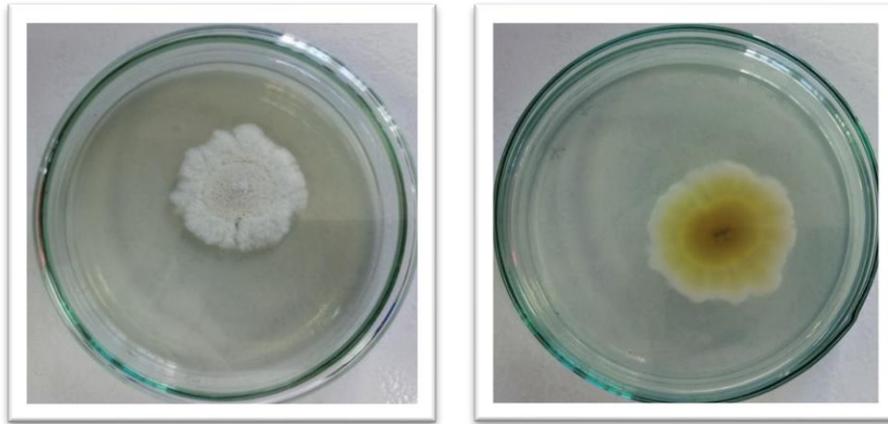
El género *Gliocladium* sp. se aisló del ecotipo Pampalasta, la mayoría de estudios relacionados con *Gliocladium* se han enfocado en su potente capacidad como agente biocontrolador, principalmente de hongos fitopatógenos. Sin embargo, las aplicaciones potenciales de este género de hongos abarcan numerosos productos obtenidos a partir de su metabolismo, capaz de generar una gran variedad de compuestos químicos. Cabe destacar también que es un organismo endófito que, además, de proveer beneficios a un amplio rango de plantas hospederas, puede imitar con éxito su comportamiento químico. Entre las aplicaciones más novedosas destaca su potencial para la producción de compuestos asociados con biocombustibles y su capacidad bioabsorbente de metales pesados. Esta investigación describe y ejemplifica estas

aplicaciones y muestra a este género de hongos como una prometedora herramienta biotecnológica (Castillo et al., 2015).

Características Macroscópicas: Las colonias en Agar Papa Glucosado presentaron un crecimiento moderado, textura algodonosa, color amarillo naranja en el anverso y reverso (Cepero de Garcia *et.al*, 2012) .

**A.**

**B.**



**Figura 18 : A. Anverso: color blanco B. Reverso: color amarillo naranja.**

Características Microscópicas: Micelio hialino y septado; los conidióforos penicilados pueden formarse solos en el micelio, en forma fasciculada; la pared de estos puede ser verrugosas y pueden tener de dos hasta cuatro verticilos, las métulas poseen paredes lisas y las fiálides son cilíndricas. Los conidios tienen forma cilíndrica a elipsoide (Cepero de Garcia *et.al*, 2012) (Figura 19) .

**A.**



**B.**



**Figura 19: A. Conidióforo primario B. Conidióforo penicilado, conidios de forma cilíndrica.**

#### **6.2.1.7 Género : *Sepedonium* sp.**

Reino: Fungi

Phylum: *Ascomycota*

Orden: Hypocreales

Familia: Hypocreaceae

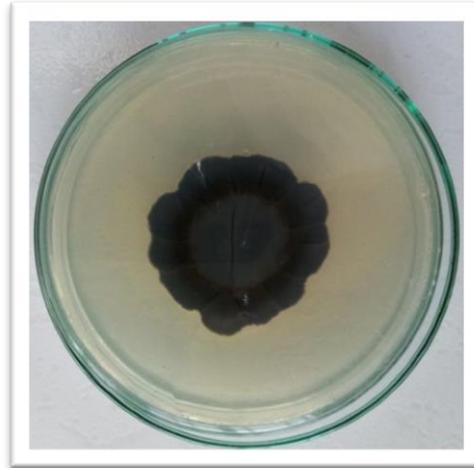
El género *Sepedonium* sp. se aisló del ecotipo Saiwa, este género de hongo infectan y parasitan los cuerpos fructíferos o micelios de otros hongos, formando esporas en la etapa final del proceso de infección; son comunes en varios géneros de hospederos, pero infrecuentemente reportados (Yurkov et al., 2012).

Características Macroscópicas: Las colonias en medio de cultivo Papa glucosado agar, presenta textura algodonosa; con formación de anillos color plomo (presenta estrías) en el borde y amarillo en el centro, presentan exudación. Reverso coloración negro .

**A.**



**B.**



**Figura 20: A. Anverso: Textura algodonosa, presentan exudación, formación de dos de anillos en los bordes coloración plomo con estrías y al centro color amarillo. B. Reverso: Forma irregular, coloración negro**

Características Microscópicas: Conidióforos cortos, hialinos, erectos, simples o ramificados. Conidios globosos (Watanabe, 2010) (Figura 21) .



**Figura 21: A. Conidióforos cortos y globosos.**

#### **6.2.1.8 Género : *Sarocladium* sp.**

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

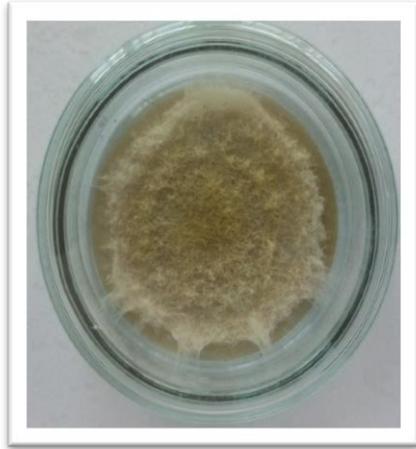
Orden: Hypocreales

Familia: Sordariomycetes

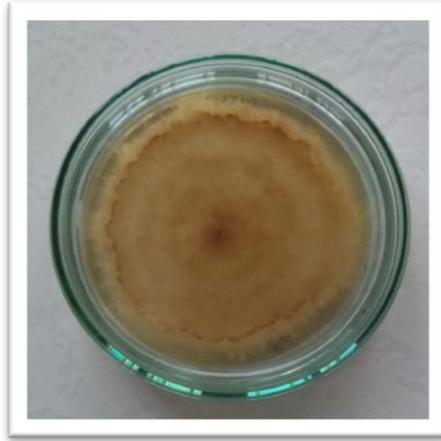
Las especies de *Sarocladium* se asocian frecuentemente con gramíneas como saprobios, parásitos y endófitos mutualistas. Herrera-Parra et al.(2018), menciona que se cuenta también con otros agentes potenciales de control biológico pertenecientes al orden Ascomycota como son *Penicillium chrysogenum*, *Trichoderma* spp., *F. graminicola* y *Sarocladium implicatum*.

Características Macroscópicas: Colonias de crecimiento lento, color blanco en la superficie y café claro en el reverso, forma circular, textura algodonosa .

**A.**

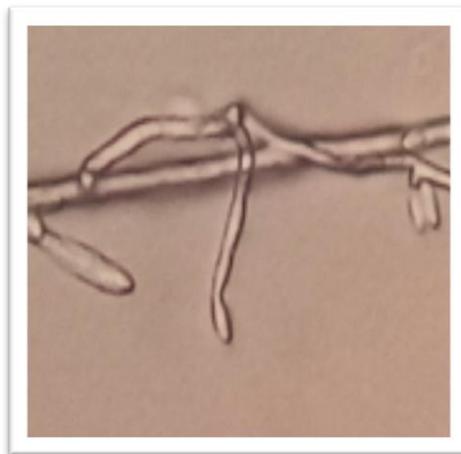


**B.**



**Figura 22: A. La superficie de color blanco, textura algodonosa B. Reverso color amarillo.**

Características Microscópicas: Hifas estrechas y frágiles. Conidios elipsoides, cortos, hialinos .



**Figura 23: Conidios elipsoides, cortos.**

### **6.2.1.9 Género : Alternaria sp.**

Reino: Fungi

Phylum: *Ascomycota*

Orden: Pleosporales

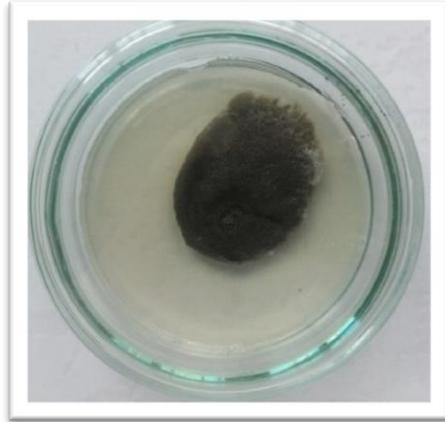
Familia: Pleosporaceae

En el ecotipo Lasta y Saiwa se aisló el género *Alternaria* sp., los hongos de este género son de distribución cosmopolita y en general producen diferentes patologías en las plantas hospedadoras.

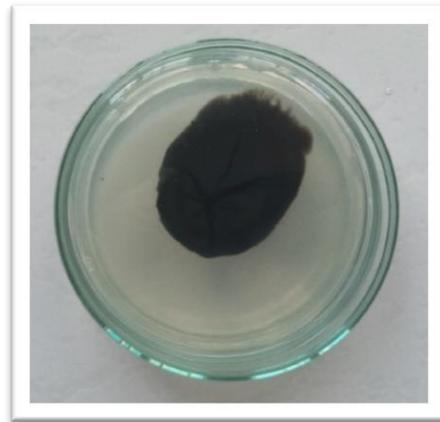
Según Fisher et al. (1986), menciona que resultados anteriores demostraron que algunas cepas de *Alternaria* aisladas como endófito, eran capaces de producir actividades antibacterianas y antifúngicas en cultivo de laboratorio. Otra investigación realizada por Gonzalez'- Teuber (2016) describe la presencia del hongo endófito *Alternaria* sp. en las raíces del cultivo de quinua.

*Características Macroscópicas:* Las colonias en medio de cultivo Papa glucosado agar, presenta textura lanosa; la superficie es de color gris a marrón – oliváceo y el reverso es negro (Cepero de García *et.al*, 2012) (Figura 24).

**A.**



**B.**



**Figura 24: A. Textura lanosa, la superficie es de color gris B. Reverso es color negro.**

*Características Microscópicas:* El micelio vegetativo es septado y de color marrón (Cepero de Garcia *et.al.*, 2012). Conidióforos marrón pálido, simples o ramificados, con conidios catenulados en el ápice y partes apicales. Conidios catenulados en su mayoría hasta 9 conidios en una cadena a menudo ramificada. Conidios porosporos, desarrollados acropetalmente, de color marrón (oscuro), cilíndricos o en forma de huso, a menudo con picos cilíndricos; muriforme compuesto de 3-4 paredes transversales y 1-2 paredes longitudinales (Watanabe, 2010) (Figura 25) .

A.



**Figura 25: A. Conidióforos marrón pálido, ramificado, conidios catenulados.**

**6.2.1.10 Género : *Ulocladium sp.***

Reino: *Fungi*

Phylum: *Ascomycota*

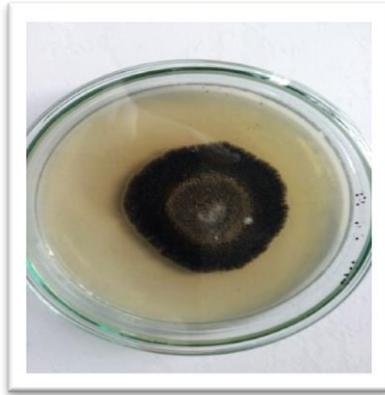
Orden: *Pleosporales*

Familia: *Pleosporaceae*

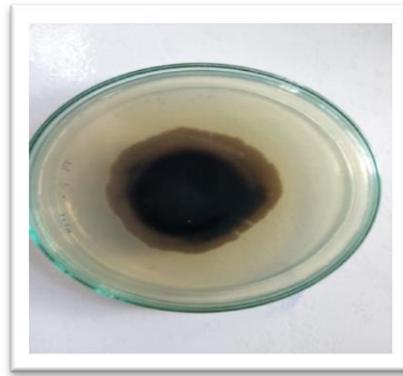
El género *Ulocladium sp.* se encuentra asociado al ecotipo Pampalasta, según Mathre (1982), este género se aisló en plantas gramíneas como trigo y cebada causando enfermedades.

Características Macroscópicas: Las colonias en el medio de cultivo Papa Glucosado Agar tuvo un crecimiento moderadamente rápido de 9 días, alcanzo un diámetro de 7,5 cm a 25°C con una humedad de 75%, presenta una coloración negra, marrón y blanca. Reverso coloración negra .

**A.**



**B.**



**Figura 26: A. Anverso: Color negro, marrón y blanco. B. Reverso: Color negro.**

Características Microscópicas: Conidióforos pardos,erectos, simples o ramificados, con uno a varios conidios apical o subapicalmente. Conidias porosporosas de color marrón a marrón oscuro, elípticas, ovadas, muriformes compuestas generalmente de 3 tabiques transversales y 1-3 tabiques longitudinales, constreñidos cerca de los tabiques, marginalmente ásperos. El micelio es septado y de color marrón (Watanabe, 2010)(Figura 27).



**Figura 27: Micelio septado, conidia elíptica, 3 tabiques transversales y 2 tabiques longitudinales.**

## **6.2.2 Caracterización de hongos rizósferico**

### **6.2.2.1 Género: *Penicillium* sp.**

Según esta investigación, en los ecotipos Saiwa, Last'a y Pampalasta se encontró una mayor dominancia del género *Penicillium* sp., lo cual coincide con la investigación realizada por Pacasa Quisbert (2015), según Cepero de Garcia et al. (2012) menciona que el género *Penicillium* comprende un gran número de especies, su presencia en el suelo es ubicua. En el aire y vegetación en descomposición su presencia es menor, se puede decir que son capaces de colonizar prácticamente todos los hábitats terrestres.

*Penicillium* es un hongo común del suelo, en la promoción del crecimiento de las plantas es ampliamente conocido por su producción de metabolitos secundarios. Destacan las diversas actividades que promueven el crecimiento de las plantas como la solubilización del fosfato, la producción de sideróforos y los reguladores del crecimiento de las plantas. También se ha empleado como bioinoculante para mejorar la productividad de los cultivos y su posible papel en la agricultura sostenible (Altaf et al., 2018).

Características Macroscópicas: Colonia circular color verde con estrías, textura polvorienta. Reverso café y con formación de estrías en su centro .

**A.**



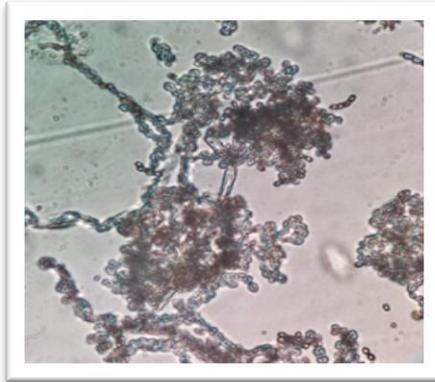
**B.**



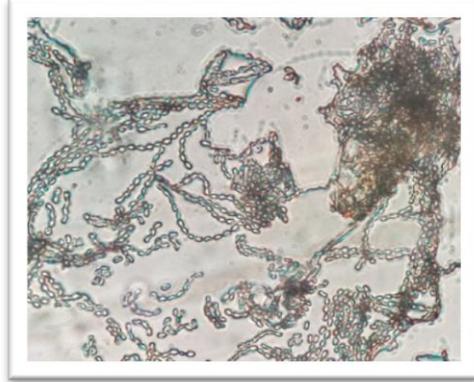
**Figura 28: A. Anverso colonia circular color verde con estrías. B. Reverso color café con estrías.**

Características Microscópicas: Hifas hialinas septadas, los conidióforos tienen ramas secundarias (métulas), de las fiálides surgen cadenas largas sin ramificar de esporas formando el pincel característico del género (Figura 29).

**A.**



**B.**



**Figura 29: A. Conidióforos con ramas secundarias B. Cadenas largas sin ramificar de conidios.**

#### **6.2.2.2 Género : *Penicillium* sp.**

*Características Macroscópicas:* Las colonias en Agar Papa Glucosado a 25 °C, tienen un crecimiento rápido, en 7 días alcanzo un diámetro de 4 cm, presenta surcos en forma radial. Coloración blanca a crema, de textura algodonosa. Reverso color crema. Presenta exudación (Figura 30).

**A.**

**B.**



**Figura 30 : A. Anverso coloración blanco a crema de textura algodonosa con surcos de forma radial. B. Reverso color crema, presenta levemente surcos.**

Características Microscópicas: Conidióforos cortos, hialinos, no septados, de paredes lisas. A menudo verticilados y asimétricos, pero algunas veces con estructuras monoverticiladas. Presenta 2 a 4 metulas, hialinas de paredes lisas. Fiálides con el ápice puntiagudo, 7hialinas, de paredes lisas. Conidios en cadenas cortas, separadas, hialinos, subglobosos y elíptico .



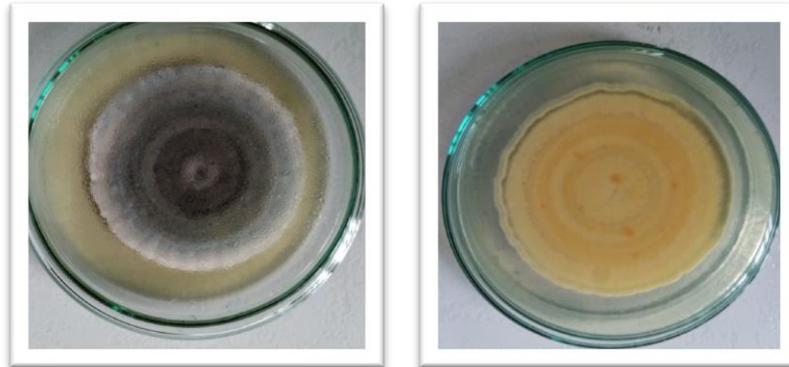
**Figura 31: Conidióforos cortos, no septados, presenta 3 métulas.**

### 6.2.2.3 Género: *Penicillium sp.*

Características Macroscópicas: Las colonias en Agar Papa Glucosado a 25 °C, tienen un crecimiento rápido, en 7 días alcanzo un diámetro de 5 cm, presenta surcos en forma radial. Coloración blanca, ploma y negra, de textura algodonosa. Reverso color crema .

A.

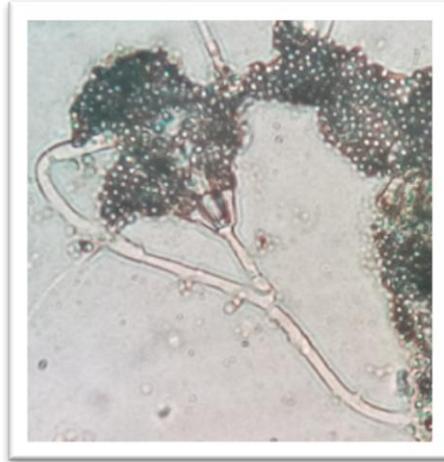
B.



**Figura 32: A. Anverso presenta surcos en forma radial, coloración blanca, ploma y negra. B. Reverso color crema.**

Características Microscópicas: Conidióforos cortos, hialinos, no septados, de paredes lisas. Presenta 2 a 4 métulas, hialinas de paredes lisas. Fiálides con el ápice puntiagudo, hialinas, de paredes lisas. Conidios en cadenas cortas, separadas, hialinos, subglobosos y elípticos (Figura 33).

**A.**



**Figura 33: A. Conidióforos cortos, no septados, presenta 3 métulas.**

#### **6.2.2.4 Género : *Mucor* sp.**

Reino: Fungi

Phylum: Mucoromycota

Orden: Mucorales

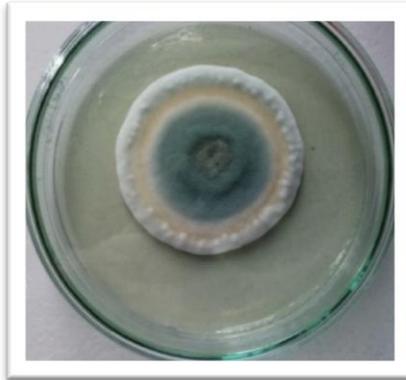
Familia: Mucoraceae

Las especies de este género son cosmopolitas, se encuentran en suelo y son de crecimiento rápido en temperaturas entre los 10 y los 40 °C con óptimos entre los 20 y los 35 °C. Algunas especies de este género son utilizadas comercialmente y en el oriente se utilizan para la producción de tofu, queso chino o torta de soya.

Yang et al. (2017) menciona que dentro de los principales representantes de estos hongos fermentadores se encuentra las siguientes especies: *Aspergillusoryzae*, *Penicillium* sp, *Trichoderma* sp y *Mucor*, describiéndolos como hongos que contribuyen con los procesos de mineralización del carbono orgánico y como hongos antagónicos de especies Fitopatógenas.

Características Macroscópicas: Las colonias en Agar Papa Glucosado presentaron un crecimiento moderado, textura algodonosa, color blanco, beis y plomo en el anverso y en el reverso amarillo naranja (Watanabe, 2010).

A.



B.



**Figura 34: A. Textura algodonosa, color blanco, beis y plomo. B. Reverso: amarillo naranja.**

Características Microscópicas: Hifas hialinas no septadas, esporangios globosos sin apófisis, con columela, sin estolones ni rizoides. La reproducción sexual es por formación de cigosporas redondas a elipsoides, que se forman en el micelio aéreo (Watanabe, 2010) (Figura 35 ).



**Figura 35 : A. Esporangios globosos sin apófisis, con columela, cigosporas elipsoides.**

### **6.2.3 Cuantificación de hongos rizosféricos y endófitos en ecotipos del cultivo de Qañahua**

#### **6.2.3.1 Cuantificación de hongos rizosféricos**

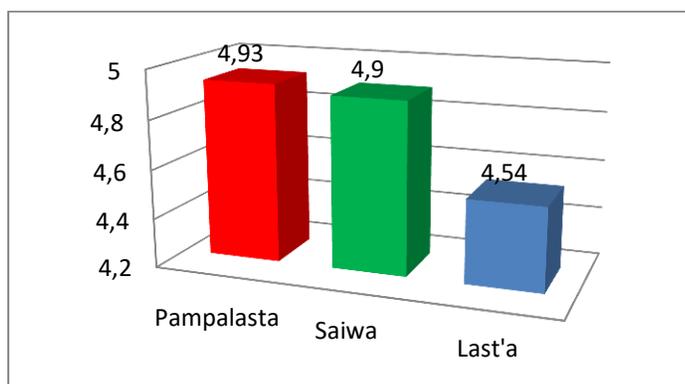
De acuerdo al análisis de varianza Cuadro 4, en el caso de los hongos rizosféricos si existe diferencias altamente significativo, esto demuestra que la cantidad de hongos rizosféricos es diferente en los ecotipos Lasta, Saiwa y Pampalasta.

El coeficiente de variación fue de 2,11 % nos indica que los valores analizados son buenos, estando dentro del margen de aceptación.

**Cuadro 4: Análisis de varianza para la cuantificación de hongos rizosféricos (ufc/g de suelo).**

F.V	GL	SC	CM	Fc	Ft		
Tratamientos	5	0,55	0,11	11	3,00	4,82	**
Error experimental	12	0,17	0,01				
Total	17	0,72					
C.V.		2,11%					

En la figura 36, con la prueba de medias Duncan, se puede apreciar que se formó dos grupos, de los cuales los ecotipos Pampalasta y Saiwa son las más diferenciadas porque obtuvieron los mayores promedios de  $2.90 \times 10^4$  ufc/g, siendo sus promedios significativamente superiores a registrados por los otros ecotipos, por otra parte el ecotipo Last'a no reporta significancia, siendo el promedio más bajo.



**Figura 36 : Promedio de UFC/g de hongos rizosféricos.**

### 6.2.3.2 Cuantificación de hongos endófitos

De acuerdo al análisis de varianza Cuadro 5, en el caso de los hongos endófitos no existe diferencias significativas, esto demuestra que la cantidad de hongos endófitos no es diferente en los ecotipos.

**Cuadro 5 : Análisis de varianza para la cuantificación de hongos endófitos (ufc/g de suelo).**

F.V	GL	SC	CM	Fc	Ft		
Tratamientos	5	0,23	0,046	1,0	3,00	4,82	NS
Error experimental	12	0,40	0,033				
Total	17	0,62					
C.V.		3,75 %					

## 7. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos podemos concluir que el total de las muestras analizadas mostro que:

- Se logró la caracterización de cuatro hongos rizosféricos a nivel de género, el hongo con mayor frecuencia de colonización 5.8% y 5.6 % fue *Penicillium sp* en el ecotipo Saiwa y Lastá respectivamente, debemos destacar que existe una diversidad de hongos del género *Penicillium sp*.
- Se logró la caracterización de diez hongos endófitos a nivel de género, donde el hongo con mayor frecuencia de colonización 9.9% fue *Fusarium sp.* en el ecotipo Last´a, en el ecotipo Saiwa fue el género *Sarocladium sp.* (3.8 %) y en el ecotipo Pampalasta el género *Penicillium sp.*(4.6%).
- Para la cuantificación de hongos rizosféricos es diferente en los ecotipos Last´a, Saiwa y Pampalasta, con la prueba de medias Duncan se pudo observar que los ecotipos Pampalasta y Saiwa obtuvieron los mayores promedios de  $2.90 \times 10^4$  ufc/g , siendo sus promedios significativamente superiores.

En el caso de los hongos endófitos no se encontró diferencias significativas.

Este estudio proporcionó información que las raíces de *Chenopodium pallidicaule Aellen* alberga un grupo diverso de hongos endofíticos y rizosféricos, que podrían desempeñar un papel importante en la planta.

## 8. RECOMENDACIONES

- En Bolivia existe una falta de información sobre los hongos rizosféricos y endófitos asociados con las raíces de las plantas y sobre los beneficios que pueden proporcionar a las plantas hospedantes. Es necesario realizar estudios experimentales para dilucidar los efectos de la raíz de hongos endófitos y rizosféricos en tolerancia de la planta *C.pallidicaule* a condiciones ambientales de alto estrés.
- Complementar la caracterización de hongos rizosféricos y endófitos de los ecotipos del cultivo de cañahua por medio de otras técnicas como métodos basados en biología molecular (ADN Y ARN).

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Altaf, MM; Imran, M; Abulreesh, HH; Khan, MS; Ahmad, I. 2018. Diversity and Applications of *Penicillium* spp. In Kumar Gupta, V; Rodriguez-Couto, S. (eds). *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Penicillium System Properties and Applications*. Amsterdam, Netherlands. Elsevier. pp. 261-276.

Ariana, HC.; Van Bruggen, A.; Semenov, M.; Van Diepeningen, AD; De Vos, OJ.; Blok, WJ. 2006. Relation between soil health, wave-like fluctuations in microbial populations, and soil-borne plant disease management. *European Journal of Plant Pathology* 115,105–122.

Ali-Shtayeh, MS.; Jamous, RMF.; Abu-Ghdeib, SI.1999. Ecology of cycloheximide-resistant fungi in field soils receiving raw city wastewater or normal irrigation water. *Revista Mycopathologia* 144: 39–54.

Apaza Mamani, V. 2010. Manejo y mejoramiento de Kañiwa. Puno, Perú. Altiplano E.I.R.L. 43 p.

Bacon, W.2018. *Biotechnology of Endophytic Fungi of Grasses*.

Bais, HP, Weir, TL, Perry, LG, Golroy, S y Vivanco JM. 2006. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 57:233- 266.

Barbee, ML; James, TY; Strull Derrien,C. 2017. Early Diverging Fungi: Diversity and impact at the Dawn of Terrestrial Life. *Annual Review Microbiology*. Vol. 17.

Barea, JM; Pozo, MJ; Azcón, R; Azcón- Aguilar, C. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany* 56 ( 417) : 1761–1778.

BIOPAT (Comisión Nacional contra la Biopiratería). 2018. Boletín BIOPAT. Lima, Perú. N<sup>o</sup>.2018–08.

Cano, V. 1973. El cultivo de la cañahua. Universidad Técnica del Altiplano. Facultad de Ingeniería Agronomía. Boletín N° 2. Puno, Perú. 12 p.

Castillo, H; Rojas, R; Villalta, M. Gliocladium sp., agente biocontrolador con aplicaciones prometedoras. Tecnología en Marcha. Edición Especial Biocontrol. Pág 65-73

Cepero de García, MC; Restrepo, S; Franco-Molano, AE; Cárdenas Toquica, M; Vargas Estupiñan, Natalia. 2012. Biología de Hongos. 1ra Edición. Colombia. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Biológicas. 522 p.

Contreras, H., y Carreño, C. (2018). Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado. Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería 1(1), 27-33.  
<http://doi.org/10.25127/ucni.v1i1.269>

Coyne, M. 2000. Microbiología de suelo: un enfoque exploratorio. España. Ediciones Paraninfo. 416 p.

Dinesh, KM. 2017 . Endophytes: Biology and Biotechnology.

Estrade, J; Anger, C; Bertrand, M; Richard, G. 2010. Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. 111 p.

Fernández Escobar, R; Trapero Casas, A; Dominguez Giménez, J. 2010. Experimentación en Agricultura. Sevilla, España, Junta de Andalucía. 354 p.

Fisher P. Rnson Avril E. , Petrini Ü. 1986. Antibiotic activity ef some endophytic fungi from Ulex europacus and Ulex GHÍÍÍ. Hutanica Helvetica 9Q: pag.37

González- Teuber, M. 2016. Caracterización molecular de hongos endofíticos asociados a las raíces de *Chenopodium quinoa* que habita el desierto de Atacama, Chile. Consultado 25 de feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.gdata.2016.12.015> Obtengaderechosycontenido

Harman, GE; Howell, CR; Viterbo, A; Ilan, C; Lorito, M. 2004. Trichoderma species opportunistic, avirulent plant symbionts. California. Consultado 25 feb.2022. Disponible en <https://www.nature.com/articles/nrmicro797>

Herrera-Parra, E., J. Ramos-Zapata, J. CristóbalAlejo, J. Tun-Suarez, and A. Reyes-Ramírez. 2018. Species of Trichoderma antagonistic to the root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in habanero pepper. *Phyton* 87:7- 13

IPGRI, PROINPA e IFAD. 2005. Descriptores para cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; International Fund for Agricultural Development, Roma, Italia.

Jin, H.;Yan, Z.; Liu, Q.;Yang, X; Chen, J; Qin, B. 2013. Diversidad y dinámica de hongos endófitos en hojas, tallos y raíces de *Stellera chamaejasme* L. en el noroeste de China.Consultado el 22 abr.2023. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23982430/>

Khan, AL.;Hamayun, M.; Kim, YH.; Kang, SM., & Lee, IJ. 2011. Ameliorative symbiosis of endophyte (*Penicillium funiculosum* LHL06) under salt stress elevated plant growth of *Glycine max* L. *Plant Physiology and Biochemistry*,

Mamani, F. 2002. Componentes de rendimiento en la producción de grano de seis cultivares de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), Tesis de post Grado. Puno, Peru. Universidad Nacional del Altiplano. Escuela de Post Grado. Programa de maestría en agricultura andina. 59 p.

Malinowski, C . 2000. Adaptations of endophyte -infected cool -season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance.

Martinez Montiel, L. 2020. Microbiología, análisis de suelos y su interpretación. Mexico DF.,México. 2 h 3 min. Consultado 16 jun 2021. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=eFb3YwuEDYw>

Mártinez , M. C. 2010. Microorganismos endófitos ¿amigos o enemigos de las plantas?. Revista Ciencia y Desarrollo. 11 p.

Mendes, R; Garbeva, P; Raaijmakers, JM. 2013. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. Consultado 18 jun 2021. Disponible en <https://academic.oup.com/femsre/article/37/5/634/540803>

Muñoz Zapata, LM; Salazar Marin, Y. 2018. Diversidad de hongos endófitos en Heliconias silvestres en la región Urabá y su potencial control sobre *Fusarium oxysporum f. sp. cubense*. Tesis pregrado. Medellin, Colombia. Politecnico Colombiano Jaime Izasa Cadavid Facultad de Ciencias Agrarias Ingeniería Agropecuaria Medellin. 67 p.

Ochoa Torrez, R. 2008. Diseños experimentales. La Paz, Bolivia. 299p.

Orsag, V. 2010. El recuso suelo, principios para su manejo y conservación: la fertilidad del suelo y su importancia. La Paz, Bolivia, Zeus. 7 p

Pacasa Quisbert, F. 2020. Microorganismos del suelo y fertilidad del suelo en el Altiplano Boliviano,. Tesis de maestría. La Paz, Bolivia, Facultad Agronomía UMSA. 97 p.

Pedraza, RO; Teixeira, KR; Scavino, AF; Salamone, IG; Baca, BE; Azcón, R; Baldani, VLD; Bonilla, R. 2010. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. Revista Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 11(2): 155-164.

Petrini, O. 1991. Fungal endophytes of tree leaves (en línea). New York. Consultado 18 feb. 2022. Disponible en [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-3168-4\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-3168-4_9)

Plaster, E. 2000. La Ciencia del suelo y su manejo. España. Ediciones Paraninfo. 419p.

Repo Carrasco, R; Espinoza, C; Jacobsen, SE. 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). 189 p.

Repo-Carrasco-Valencia, R; Acevedo, A; Icochea, J; Kallio, H. 2009. Chemical and Functional Characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) Grain, Extrudate and Bran. *Plant Foods Hum Nutr* 64:94–101

Rojas, W; Pinto, M.; Soto, JL. 2010. Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia: Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos andinos. Bolivia, La Paz. 23 p.

Rojas, W.; y Pinto, M. 2002. “Caracterización y evaluación preliminar de la colección de germoplasma de cañahua”. Informe Anual 2002. Fundación PROINPA - Regional Altiplano. La Paz, Bolivia. 25 p.

Sanchez Marquez S, Bills GF, Zabalgoeazcoa I. 2007. The endophytic mycobiota of the grass *Dactylis glomerata*. *Fung Divers*, 195 p.

SENAMHI (Servicio de Meteorología e Hidrología). 2011. Manual de observaciones Meteorológicas. Perú. 99 p.

Symborg. 2010. Como pueden ayudar a tus cultivos los microorganismos rizosféricos (en línea, sitio web). Consultado 14 de oct. 2023. Disponible en: <https://symborg.com/es/proteccion-suelos/microorganismos-rizosfericos-ayudar-cultivos/>

Sylvia, D.; Fuhrman, J.; Hartel, P.; Zuberer, D. 1998. Principles and Applications of soil Microbiology. New Jersey. Ediciones Prentice Hall. 550 p.

Suryanarayanan T. S. and Vijaykrishna D. 2001. Fungal endophytes of aerial roots of *Ficus benghalensis*. *Fungal Diversity*,

Tapia, ME. y Frías, AM. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima, Perú. 30 p.

Villarreal, J. Name, B. Garcia, R. 2012. Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio. Alajuela-Costa Rica. Consultado el 16 de julio. 2022. Disponible en: <http://www.redalyc.org>.

Vardharajula, S; Ali, S; Grover, M; Reddy, G; Bandi, V. 2011. Droughttolerant plant growth promoting Bacillus spp.: effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. Journal of Plant Interactions 6(1): 1-14. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17429145.2010.535178>

Watanabe, T. 2010. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species. 3a ed. New York. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group. 428 p.

Yang, Z., Jiang, Z., HSE, C. Y., Liu, R. 2017. Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinus elliottii*) by stress wave non-destructive testing. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 117: 123-127

Yurkov, A, Krüger, D, Begerow, D, Arnold, N, & Tarkka, T. 2012. Basidiomycetous yeasts from Boletales fruiting bodies and their interactions with the mycoparasite *Sepedonium chrysospermum* and the host fungus *Paxillus*. *Microbial Ecology*, 63(2).

Zabalgogezcoa I . 2008. Fungal endophytes and their interactions with plant pathogens. *Spanish J Agric Res*. 146 p.

Zamora, JIS. 2014. Microbiótica y remineralización de suelos en manos campesinas. México ,Kindle.161 p

# **ANEXOS**

Anexo 1: Resultados del análisis de laboratorio de muestras de suelos.



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



---

**RES: FAC.AGRO.LAB. N°261**

**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS**

**INTERESADO:** Jeanette Choque Choque  
**SOLICITUD:** LAF 261\_21  
**FECHA DE ENTREGA:** 20/10/21  
**PROCEDENCIA:** Departamento La Paz  
 Municipio Viacha  
 Provincia Ingavi

Identificación de microorganismo en la rizósfera de la cañahua ( *Chenopodium pallidicaule* Aellen ) en el centro Khipa Khipani provincia Ingavi

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	69	Boyucos
	Limo	%	16	
	Arcilla	%	15	
	Clase Textural	-	Franco Arenoso	
pH en KCL relación 1:5		-	6.68	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmho/cm	0.04	Potenciometría
Materia orgánica		%	1.26	Walkley y Black



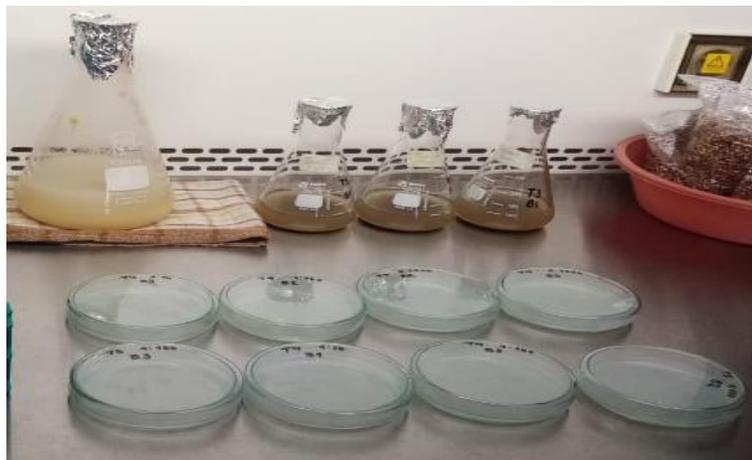
  
 Ph.D. Roberto Miranda Casas  
**LABORATORIO DE SUELOS**

---

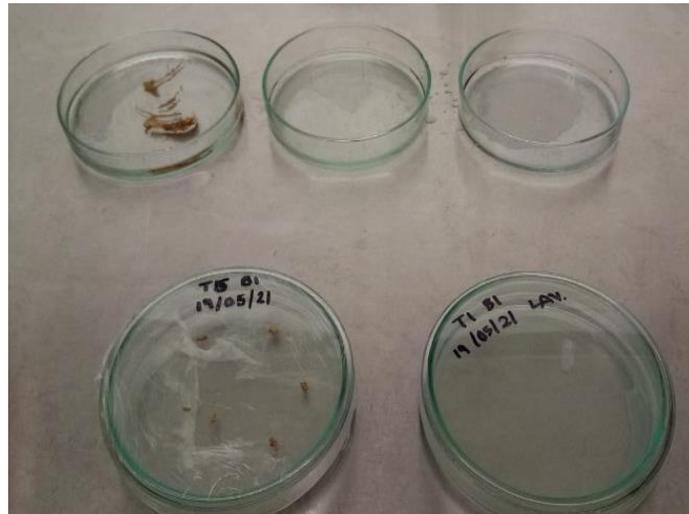
Dirección: Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850.  
 Telf. IAREN: 2484647 - 74016356 - 73075326 • E-mail: lafasa.suelos@gmail.com  
 Página web: agro.umsa.bo • La Paz - Bolivia

Escaneado con CamScanner

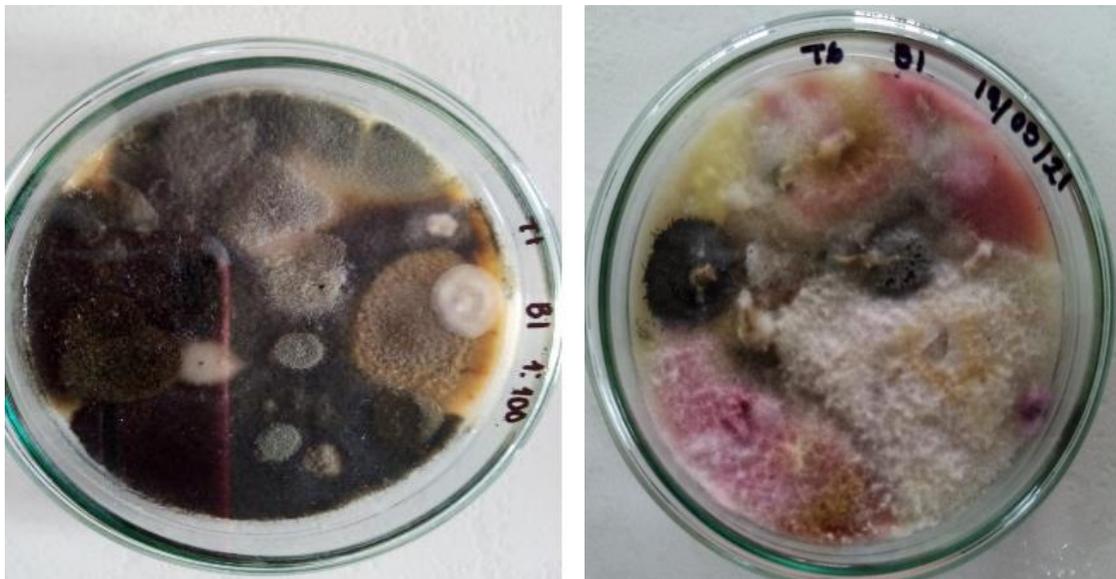
## Anexo 2: Preparación del medio de cultivo Papa agar glucosado



Anexo 3: Muestras de la raíz para el aislamiento de hongos endófitos.



Anexo 4: Hongos Rizosféricos y endófitos.



Anexo 5: Hongos no identificados.



Características macroscópicas



Características microscópicas



Características macroscópicas



Características microscópicas



Características macroscópicas



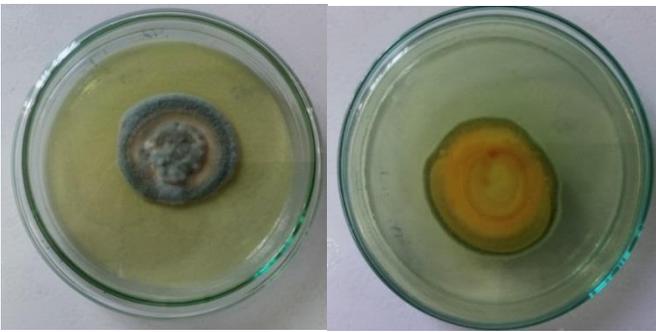
Características microscópicas



Características macroscópicas



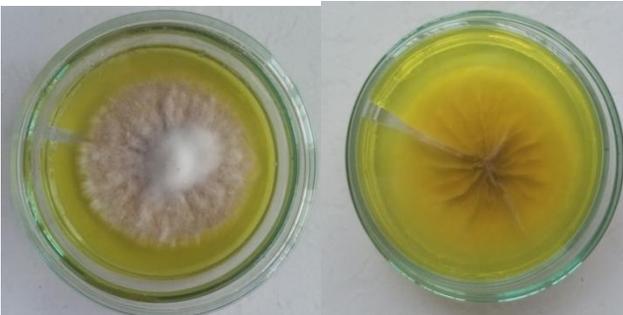
Características microscópicas



Características macroscópicas



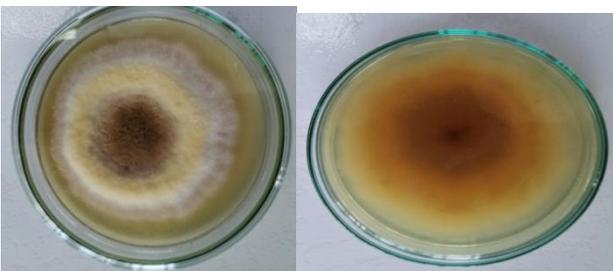
Características microscópicas



Características macroscópicas



Características microscópicas



Anexo 6: Ecotipos del cultivo de Qañahua



Pampalasta



Saiwa



Pampalasta

