UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TESIS DE GRADO

ANALISIS DE INFECCIÓN DE HONGOS MVA EN RAÍCES DE CULTIVOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa* W.) CON SU RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE PATACAMAYA

PRESENTADO POR:

Jimena Isabel Valdivia Salazar

LA PAZ – BOLIVIA

2016

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

ANALISIS DE INFECCIÓN DE HONGOS MVA EN RAÍCES DE CULTIVOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa* W.) CON SU RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE PATACAMAYA

Tesis de grado presentada como requisito parcial

para optar el Título de Ingeniero Agrónomo

Jimena Isabel Valdivia Salazar

Asesores:

Ing. Agr. PhD. D. Emilio Garcia Apaza ……..

Ing. Agr. M. Sc. Carlos López ……..

Tribunal Revisores:

Ing. Agr. Ph.D. David Cruz Choque ……..

Ing. Agr. Ph.D. José Yakov Apaza ……..

Ing. Agr. Freddy Cadena Miranda ……..

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador ……..

2016

DEDICATORIA

Al culminar una importante etapa de mi vida dedico el fruto de mi esfuerzo y dedicación, reflejado en este trabajo de investigación de tesis a:

Dios por darme la vida e iluminarme en momentos difíciles siendo mi guía.
A mis padres German Valdivia e Isabel Salazar, por su confianza, apoyo incondicional, e inmenso amor. Por brindarme a crecer como ser humano y profesional.
A mi amado hijo Joel Elías quien me enseño la importancia de recuperarse de los fracasos, luchar hasta el cansancio por los sueños, por ser ese rayo de luz que llego a mi vida y alegrarla cada día.
A mis hermanos Marianel, Elvis, Juan Pablo quien juntos formamos parte de una gran familia.

"La única lucha que se pierde es la que se abandona"

Ernesto Che Guevara

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos para:

Proyecto “Análisis de Los Factores Climáticos de Equilibrio en Ecosistemas Afectados por el Cambio Climático en La Estación Experimental de Patacamaya” que a través de este del mismo se logró hacer esta investigación.

Al coordinador del proyecto y al mismo tiempo asesor Ing. Ph. D. Emilio García Apaza por brindarme la confianza, apoyo y compartir sus conocimientos para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

A mi asesor Ing. M. Sc. Carlos López Blanco por las sugerencias y tiempo compartido para mejorar el documento final.

Un agradecimiento especial a la Lic. Wilma Angulo por compartir sus conocimientos y ayuda que hizo posible en la parte de laboratorio.

A los revisores que con paciencia, sugerencias y consejos vertidos durante la elaboración de la tesis y la mejora del documento final.

A mis compañeros tesistas, Iván Cusi, Eloy Álvarez, Haydee Limachi, Kathya Gutiérrez y Jhannet Condori, por su ayuda durante el trabajo de campo.

A la Facultad de Ingeniería Agronómica U.M.S.A. los docentes quienes colaboraron para mi formación profesional.

A todas las personas, compañeros y amigos por la amistad prestada de la Facultad de Agronomía. No los nombro por no olvidarme de alguien en especial.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA III

AGRADECIMIENTOS IV

INDICE DE FIGURAS VIII

INDICE DE CUADROS IX

RESUMEN X

1. INTRODUCCION 14

1.1. Objetivos 2

1.1.1. Objetivo General 2

1.1.2. Objetivos Específicos 2

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 3

2.2.1. Cultivo de la papa 3

2.2.1.1. Taxonomía 4

2.2.2. Cultivo de quinua 4

2.2.2.1. Taxonomía 4

2.3. Raíces de los cultivos 5

2.3.1. Raíz adventicia 5

2.3.2. Raíz pivotante 6

2.3.3 Densidad de raíces 6

2.3.3.1. Metodologías de estimación de la densidad de raíces 6

2.4. Hongos MVA **7**
2.4.1. Morfología de los hongos Micorrízico Vesículo Arbúsculares MVA 9
2.4.2. Infección de raíces 12
2.4.3. Etapas de la infección 12

2.5. Relaciones simbióticas en plantas – hongos MVA **14**

2.6. Clasificación taxonómica **15**

2.7. Principales beneficios de los hongos MVA **16**

2.8. Metodología de tinción de infección de raíces **16**

3. LOCALIZACIÓN **19**

3.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio **19**
3.1.1. Ubicación de las comunidades de estudio 19

3.2. Características climáticas de la zona. **21**

3.2.1. Temperatura **21**

3.2.2. Precipitación **22**

4.1. Materiales **23**
4.1.1. Material de campo 23
4.1.2. Materiales de laboratorio 23
4.1.3. Material reactivos 23
4.1.4. Material vegetal 23
4.1.5. Material de gabinete 23

4.2. Métodos **24**
4.2.1. Fase de campo 24
4.2.1.1. Reconocimiento de campo 24
4.2.1.2. Muestreo y evaluación de la densidad de raíces en campo 25

4.2.1.3. Preparación de raíces para laboratorio 25

4.2.2. Fase de laboratorio 27

4.2.2.1. Tinción de raíces 27

4.3. Análisis Estadístico 29

4.4. Variables de respuesta para los cultivos de papa y quinua 30

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 31

5.1. Determinación de la densidad de raíces en los cultivos de papa y quinua 31

5.1.1. Evaluación de la densidad de raíces en el cultivo de papa 32

5.1.2. Evaluación de la densidad de raíces en el cultivo de quinua 38

5.2. Evaluación de infección de los hongos MVA en cultivos de papa y quinua.... 42

5.2.1. Porcentaje de infección en el cultivo de papa 43

5.2.2. Infección de hongos MVA en quinua 50

6. CONCLUSIONES 56

7. RECOMENDACIONES 58

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA 59

ANEXOS 67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de una micorriza arbúscular. 8
Figura 2. Estructuras de los hongos micorrízicos arbúsculares (mva). 10
Figura 3. Raíces de *asarum canadense.* Mva, en el género *glomus* produce arbúsculos. 11
Figura 4. Esporas: *gigaspora eff gigantea, glomus tortuosum*..... 11
Figura 5. Proceso de infección de hongo mva..... 13
Figura 6. Método para la tinción de las raíces 17
Figura 7. Mapa de ubicación de las comunidades de investigación. 19
Figura 8. Temperatura media, mínima y máxima en el municipio de patacamaya. 21
Figura 9. Comportamiento de la precipitación en el municipio de patacamaya 2015. ... 22
Figura 10. Forma de muestreo en las parcelas de papa y quinua 24
Figura 11. Corte de raíces secundarias de los cultivos. 26
Figura 12. Lavado y conservación de raíces. 26
Figura 13. Fase de laboratorio..... 28
Figura 14. Observación de los hongos mva. 29
Figura 15. Densidad de raíz de papa en alto patacamaya. 32
Figura 16. Densidad de raíz de papa en collpa huancarani. 34
Figura 17. Densidad de raíces del cultivo de papa en las comunidades de estudio..... 36
Figura 18. Densidad de raíz de quinua en alto patacamaya. 38
Figura 19. Densidad de raíz de quinua en collpa huancarani. 39
Figura 20. Densidad de raíz de quinua en collpa huancarani. 41
Figura 21. Porcentaje de infección en papa en las parcelas de alto patacamaya. 44
Figura 22. Infección de hongos mva en el cultivo de papa, collpa huancarani. 46
Figura 23. Infección de hongos mva de papa en las comunidades de estudio. 48
Figura 24. Porcentaje de infección en papa en las parcelas de alto patacamaya. 51
Figura 25. Infección de hongos mva en el cultivo de papa, collpa huancarani. 53
Figura 26. Infección de hongos mva de quinua en las comunidades de estudio. 54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Densidad de raíces en el cultivo de papa en las parcelas de alto patacamaya. 33

Cuadro 2. Densidad de raíces en el cultivo de papa, collpa huancarani. 35

Cuadro 3. Densidad de raíces de papa en alto patacamaya y collpa huancarani. 37

Cuadro 4. Densidad de raíces en el cultivo de quinua de alto patacamaya. 39

Cuadro 5. Densidad de raíz en el cultivo de quinua de collpa huancarani. 40

Cuadro 6. Densidad de raíz de quinua, alto patacamaya y collpa huancarani. 42

Cuadro 7. Porcentaje promedio de infección en raíces de papa con relación a los factores climáticos de humedad y temperatura. 43

Cuadro 8. Infección de hongos mva en el cultivo de papa, alto patacamaya. 45

Cuadro 9. Infección de hongos mva en el cultivo de papa, collpa huancarani. 47

Cuadro 10. Análisis de comparación entre comunidades en papa. 49

Cuadro 11. Porcentaje promedio de infección en raíces de quinua con relación a los factores climáticos de humedad y temperatura. 50

Cuadro 12. Análisis de comparación entre comunidades en quinua, alto patacamaya. 52

Cuadro 13. Infección de raíz en el cultivo de quinua, collpa huancarani. 53

Cuadro 14. Comparación de infección en quinua, en ambas comunidades. 55

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue analizar la infección de los hongos MVA en raíces de los cultivos de papa (*Solanum tuberosum)* y quinua *(Chenopodium quinoa* W.) *con* su relación al cambio climático durante los meses de marzo a septiembre del año 2015 en las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani del municipio de Patacamaya.

Los objetivos específicos fueron determinar la densidad de raíz, cuantificar el porcentaje de infección relacionados con los factores climáticos de precipitación y temperatura, en los cultivos papa y quinua en las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani.

La densidad de raíz de los cultivos de papa y quinua presentaron datos bajos (en papa 4,6 y 1,88 kg/m^3 en quinua) a comparación de estudios realizados en el hallazgo de las densidades (en papa 5,2 y en quinua 2,5 kg/m^3).

El porcentaje de infección del cultivo de papa en la comunidad de estudio presentó valores que están dentro de otras investigaciones ya realizadas dando de esa forma los valores de 49,74 y 49,28 porcentaje de infección en Alto Patacamaya y Collpa Huancarani respectivamente, lo que demuestra ser un factor beneficioso para dicho cultivo.

Sin embargo en el cultivo de quinua en la investigación se registró un porcentaje de infección elevado de 3,81 y 6,64 en Alto Patacamaya y Collpa Huancarani, a pesar que este cultivo no presenta infección en las raíces por causa de las sustancias presente en el cultivo que son fungicidas que eliminan la infección de este hongo a las raíces

Los hongos MVA (*micorriza vesículo arbúscular*) es una asociación mutualista entre un hongo y las raíces de una planta, donde estimulan el crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas especialmente en suelos con baja y moderada fertilidad.

Esta relación está condicionada por la infección en las raíces, el porcentaje de infección en las comunidades de Collpa Huancarani y Alto Patacamaya en el cultivo de papa se presentó en condiciones favorables porcentajes de infección, a diferencia de la quinua con infecciones por debajo del 14%, el cual sin embargo, no está determinado ni por el contenido de humedad en el suelo ni por la temperatura ambiente, lo que posiblemente sea un indicador de que el cambio climático no sea determinante en el crecimiento de esta planta, sino más bien a cualidades intrínsecas que posee este cultivo.

ABSTRACT

The present research was done to analyze the MVA fungus root infection in the potato (*Solanum tuberosum* L.) and quinoa *(Chenopodium quinoa* W.) crops, and its relationship to climate change during a period between March and September 2015 in the communities of Alto Patacamaya and Collpa Huancarani, municipality of Patacamaya.

The specific objectives were to determine the root density, to quantify the rate of infection and determine the degree of infection related to climatic factors temperature and precipitation, the potato and quinoa crops in the communities of Alto Patacamaya and Collpa Huancarani.

The density of root crops potato and quinoa had low data (potato 4.67% and 1.88% in quinoa) compared to studies finding densities (5.2% potato and quinoa 2.5%). The percentage of infection of the potato crop in the community of Alto Patacamaya values presented 49.7% and 49.3% Collpa Huancarani one thus giving data found in research related to the issue.

However in the cultivation of quinoa research a percentage of high infection occurred since this culture no infection in the roots because of the present in culture that are fungicides eliminate the infection of the fungus to the roots substances, despite that the presence evidenced this fungus in the crop.

The VAM fungi (arbuscular mycorrhizae vesicular) is a mutualistic association between a fungus and the roots of a plant, where they stimulate the growth, development and plant nutrition especially in soils with low and moderate fertility. This relationship is conditioned by infection in the roots.

The percentage of infection in communities Collpa Huancarani and Alto Patacamaya in the potato crop was presented on favorable terms with more of infection, unlike the quinoa with infections below 14%, which, however, no is determined not by the moisture content in the soil or by the ambient temperature, which may be an indication that climate change is not a determining factor in the growth of this plant, but rather to intrinsic qualities that this crop.

1. INTRODUCCION

En el Altiplano boliviano los cultivos de papa y quinua son los referentes que presentan buena aceptación y demanda donde su explotación agrícola se encuentra obstaculizada, elevado costo de insumos, bajo nivel tecnológico, por alta incidencia de plagas y enfermedades, sequías periódicas, fuertes vientos que producen erosión, temperaturas bajas y sobre todo, heladas frecuentes producidas por el cambio climático. Las estrategias de confrontación de los eventos climáticos se han dado en diversas formas. Una de ellas es el manejo temporal de los suelos, asociada a su recuperación con microorganismos simbiontes.

Estos microorganismos son los hongos MVA, que forman una simbiosis mutualista benéficas entre las raíces de las plantas, colonizando a la corteza de la raíz sin causar daño, sino que proporciona una mayor absorción de agua, promueve mayor eficiencia en la absorción radical de nutriente, especialmente aquellos de lenta movilidad en el suelo como el Fósforo (P), también genera mayor tolerancia al estrés hídrico, las condiciones duras de temperatura, y mayor protección de patógenos.

Una vez establecido estos hongos MVA en la raíz de los cultivos ocurre la esporulación del hongo, etapa necesaria para la diseminación y sobrevivencia.

Algunos factores ambientales, podrían limitar o impedir la esporulación, como el exceso de temperatura y la cantidad de agua.

A pesar de la importancia de estos microorganismos para la producción y sostenibilidad de sistemas de producción agrícola cabe mencionar la poca información sobre la presencia de estos simbiontes.

Los hongos MVA están presentes en la mayoría de los cultivos como ser, papa, cebada y avena con un 50% de infección en comparación a la vegetación silvestre del Altiplano Central especialmente la thola que presenta un 83% de infección, sin embargo las especies como la quinua no presentan infección. Sin embargo en la presente investigación se encontró un porcentaje de infección de estos hongos en este cultivo.

En consecuencia el presente estudio se basó en buscar una relación de los hongos MVA en un escenario de cambio climático, es decir de variaciones de temperatura y precipitación que intervienen en la presencia y actividad de los hongos MVA en las raíces de los cultivos de papa y quinua en suelos agrícolas. Para ello, se cuantifico y evaluó el porcentaje de infección de los mismos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Analizar la infección de los hongos MVA en raíces de los cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L) y quinua (*Chenopodium quinoa* W) *con* su relación al cambio climático en las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani del municipio de Patacamaya.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar la densidad de las raíces en los cultivos de papa y quinua en áreas establecidas de las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani.

- Evaluar la infección de los hongos MVA en las raíces de los cultivos de papa y quinua con los parámetros climáticos de humedad y temperatura.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características del Altiplano

El altiplano boliviano central a 3.800 m de altitud, está sujeta a riesgos de heladas, temperaturas medias alrededor de los 10 ºC, precipitaciones anuales que oscilan entre 300 - 670 mm (Muñoz, 1977; Jiménez, *et al.,* 2013; SENAMHI, 2015).

Limitantes socio-económicas como el escaso capital de inversión, la escasez de mano de obra y los precios bajos en el mercado impiden el desarrollo de una agricultura competitiva y sostenible (Gonzales de Olarte, 1994).

El altiplano central comienza en el área de Patacamaya y se extiende hasta el sur del departamento. La zona tiene muchos recursos hídricos provenientes de los deshielos de la cordillera Occidental, que convergen hacia el río Lauca, aguas que podrían aprovecharse para programas de microriego destinados a la producción de forrajeras y algunos cultivos agrícolas resistentes a las heladas (Montesinos, 1991).

2.2. Principales cultivos

2.2.1. Cultivo de la papa

El cultivo de papa es considerada el cultivo andino más importante debido a ser una fuente de ingresos y de seguridad alimentaria, especialmente para el habitante andino, ya que puede ser transformado en chuño y tunta (PROINPA, 1998).

La papa es una planta dicotiledónea, herbácea, anual. Pero puede ser considerada como perenne potencial, debido a su capacidad de reproducirse vegetativamente por medio de tubérculos (Pardave, 2004).

2.2.1.1. Taxonomía

Según Cáceres (1993), clasificación taxonómica de la papa es la siguiente:

Reino:	*Plantae*
División:	*Magoliophyta*
Clase:	*Magnoliosida*
Subclase:	*Asteridae*
Orden:	*Solanales*
Familia:	*Solanáceae*
Género:	*Solanum*
Espécie:	t*uberosum*.

2.2.2. Cultivo de quinua

Gandarillas (2001), indica que la quinua (*Chenopodium quinoa* W.) tiene su origen en Los Andes de Sud América, originaria de las regiones que rodean al lago Titicaca entre los países de Bolivia y Perú; se encontró una diversidad de tipos y vestigios de quinua silvestres en las chullpas de los Incas y ha sido cultivada por más de 5.000 años por distintas civilizaciones indígenas como los Incas y Aymaras.

2.2.2.1. Taxonomía

Según *The Angiosperm Phylogeny Group* (2003) la clasificación taxonómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.*)* es la siguiente:

Reino:	*Vegetal*
Subclase:	*Fanerógama*
Clase:	*Dicotiledónea*
Orden:	*Centrospermas*
Familia:	*Chenopodaceas*

Género: *Chenopodium*

Espécie: *Quinoa*

2.3. Raíces de los cultivos

Según Guirola e Iznaga (2013), la raíz es el órgano generalmente subterráneo, especializado en:

- Fijación de la planta al sustrato.
- Absorción de agua y sustancias disueltas.
- Transporte de agua y solutos a las partes aéreas.
- Almacenamiento en la raíz de reservas que utilizan para producir flores, frutos y semillas.
- En algunas plantas las raíces transportan dióxido de carbono (CO_2) para la fotosíntesis, ya que sus hojas usualmente crecen estomas.

2.3.1. Raíz adventicia

En el cultivo de papa se forma raíces adventicias primero en la base de cada brote y luego encima de los nudos en la parte subterránea de cada tallo ocasionalmente se forman raíces también en los estolones. El tipo de sistema radicular varía de delicado - superficial a fibroso - profundo (Guirola e Iznaga, 2013).

Román y Hurtado (2002), señalan que la raíz formada a partir de semilla de tubérculo es fibrosa, no existe una raíz principal y posee muchas raíces adventicias. Su mayor crecimiento lo desarrolla en los primeros 0,20 m de profundidad, extendiéndose lateralmente de 0,30 hasta 0,60 m. Las raíces laterales fibrosas pueden llegar hasta 1,20 m de profundidad, en suelos francos y profundos.

2.3.2. Raíz pivotante

El cultivo de quinua forma la raíz pivotante vigorosa, fibrosa con muchas ramificaciones y alcanza hasta los 0,60 m, de profundidad (Nieto *et al*., 1992).

Roumet *et al*. (2006), señalan que las raíces del cultivo de quinua permite aprovechar el agua de las profundidades y las raíces fasciculadas el agua superficial.

2.3.3 Densidad de raíces

El patrón de distribución de la masa radical en el perfil del suelo permite a las plantas obtener agua y nutrientes que puedan encontrarse en estratos edáficos inferiores (Martínez, *et al.,* 2009).

Russel (1992), señala que el crecimiento de la raíz está determinado por la capacidad de elongación o profundidad de las raíces de explorar el suelo.

La densidad de las raíces en el perfil del suelo es indicador de resistencia y tolerancia a condiciones de sequía, permitiéndole a los cultivos expresar su potencial de producción de biomasa (MS) y granos (Huerta *et al*., 2012).

2.3.3.1. Metodologías de estimación de la densidad de raíces

Según Jorge (2006), existen un sin número de metodologías desde la exposición y conteo del número de raíces en un perfil de suelo expuesto, hasta la observación de la distribución radicular, pasando por el método de perfil de pared utilizada primero solo para raíces de árboles.

- ***Método del monolito***

Según Polomski y Kuhn (2002), indican que para este método, se requiere un bloque de suelo en su estructura original, que es extraído desde su posición natural con una profundidad y sección transversal especifica. Un bloque de suelo puede ser usado para obtener una vista detallada del volumen del sistema radicular de plantas herbáceas dentro de su suelo circundante.

A su vez, obtenido el bloque se separa el suelo de las raíces mediante lavado. Esto se puede hacer directamente en el campo, pero generalmente las muestras de suelo son transportadas a un lugar especial de lavado para así evitar perdida de raíces.

- ***Método del barreno***

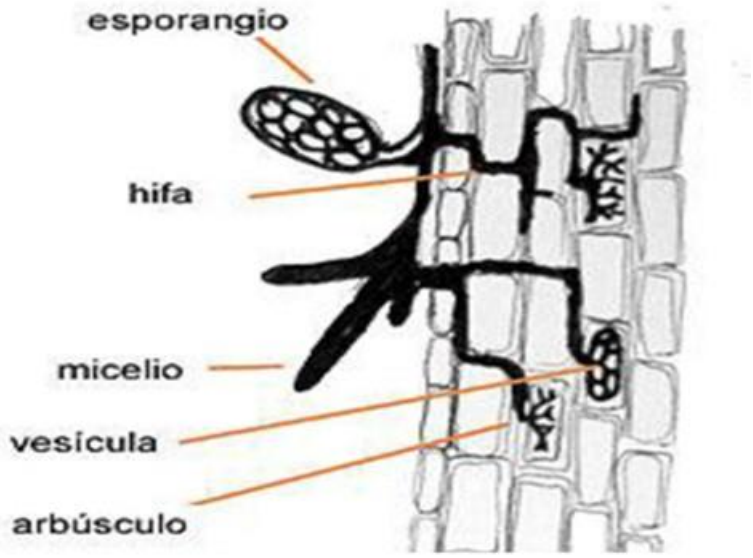
Este método está basado en muestreos centrales de suelo mediante un cilindro de un volumen dado. Es frecuentemente usado para estimar la distribución espacial (biomasa, puntas de raíces, longitud y diámetro) y la relación volumétrica de raíces finas. Tomar una muestra de suelo central consiste en empujar, pulsar o perforar verticalmente el suelo con un tubo de acero impulsados a mano o golpeados con un mazo. Se puede utilizar cilindros desde los 10 cm hasta 150 cm de largo, tomado precauciones para asegurar que el borde del cilindro esté bien afilado ya que un borde sin filo no cortaría las raíces (Bouma *et al*., 2000).

2.4. Hongos MVA

Según Agarwal y Sah (2009), el vocablo micorriza, proviene del griego *mykos* = hongo y *rhiza* = raíz, que literalmente significa hongo de la raíz, este término lo utilizó por vez primera el botánico de origen alemán, Albert Bernard Frank, en 1885, para describir la unión de dos organismos que forman un solo órgano morfológico, en el cual existe una retroalimentación de los simbiontes.

Inicialmente se creía que la asociación micorrízica se presentaba únicamente en especies arbóreas, pero a través del tiempo y con los resultados de diversas investigaciones se demostró que existe una amplia diversidad de asociaciones que están presentes en la mayoría de las plantas superiores (Aguilera-Gómez *et al.,* 2008).

Los hongos micorrízico vesículo arbúsculares (MVA) poseen tres componentes (Figura 1), que son: La raíz de la planta hospedera, las estructuras formadas en el córtex radicular (arbúsculos o vesículas), y el micelio o esporas extra radicales (Sieverding, 1991).



Fuente: Siqueira y Franco (2002).

Figura 1. Partes de una micorriza arbúscular.

Karandashov *et al.* (2000); Guzmán y Farías (2005), alegan que los hongos micorrízicos vesículo arbúsculares (MVA) son heterótrofos, no fotosintéticos y establecen una relación muy estrecha con la raíz de la planta hospedera. Ya que son incapaces de completar su ciclo de vida sin colonizar la raíz.

Entre la planta y el hongo se establece un intercambio en el cual ambos se benefician, la planta proporciona al micobionte carbohidratos y el hongo micorrízico la abastece de fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio e incrementa la absorción de agua y

micronutrientes como cobre y zinc. Además confiere protección contra patógenos que ocasionan pudriciones, marchitamiento en las raíces (Ruiz-Medrano, 2002).

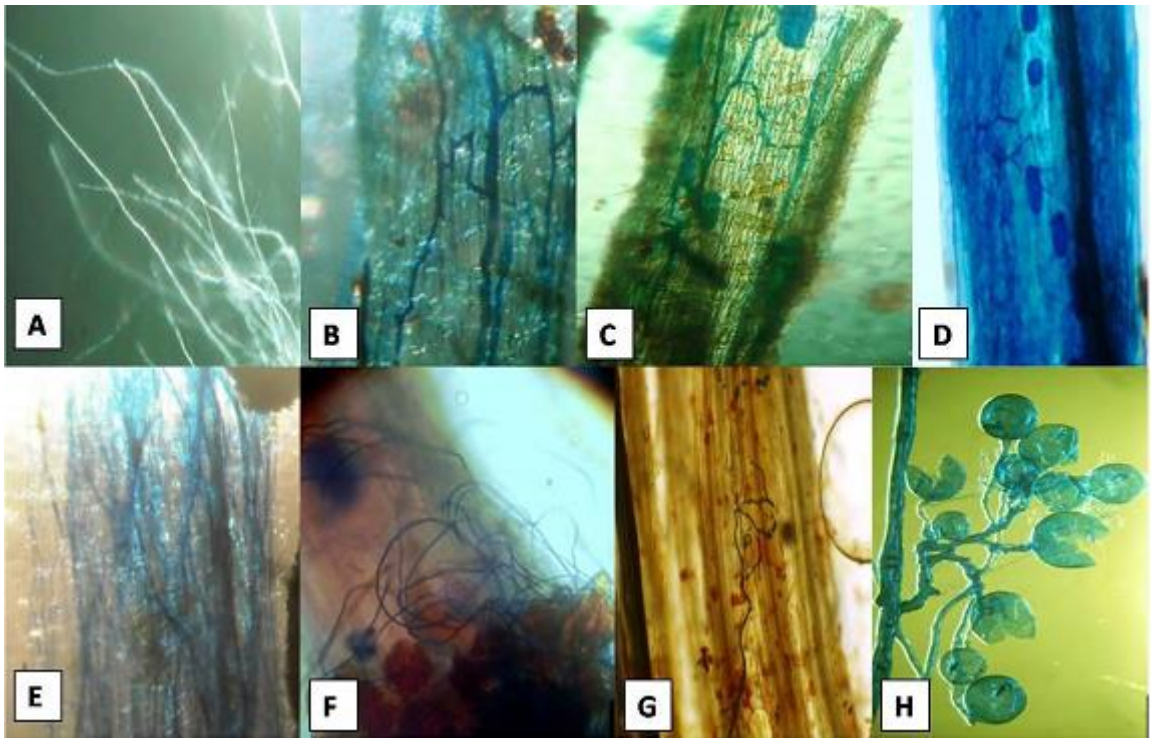
Sánchez *et al.* (2006) La principal característica de los hongos MVA es la presencia de arbúsculos, estructuras típicas de la colonización que el hongo desarrolla en el interior de las células de la corteza de la raíz por ramificación dicotómica repetida de sus hifas en todos los casos forman arbúsculos y vesículas.

2.4.1. Morfología de los hongos Micorrízico Vesículo Arbúsculares MVA

Según Mortón e*t al*., (1996), y Sylvia (1999), la morfología de los hongos MVA, están conformados por:

Hifas: Los hongos MVA, poseen dos sistemas de hifas, uno interno y otro externo. El primero se desarrolló inter o intercelularmente en las células corticales de la raíz, el segundo emerge de la raíz y se extiende por el suelo a varios centímetros, dando lugar al micelio extremo que constituye el sistema de absorción de nutrientes (Figura 2E y 2F) Según Espinoza (2013), son estructuras filamentosas que en conjunto forman un micelio.

Micelio externo: Es el talo o aparato vegetativo de nutrición del hongo, conformado de una o varias células carentes de fibras y vasos, no diferenciándose de las verdaderas raíces, las cuales están sustituidas a veces por los pelos rizoides. El micelio externo (Figura 2A) externo se constituye en el colonizador de la raíz de la planta y del suelo (rizósfera), funciona como una prolongación del sistema radicular de la planta, permitiéndole explorar un área mayor de suelo que el alcanzado por las raíces de las plantas que no presentan proceso simbiótico de micorrización, generando un aumento de 40 veces mayor aprovechamiento de los nutrientes (N, P, K, Mg, Cu, entre otros) (Duran, 2003).



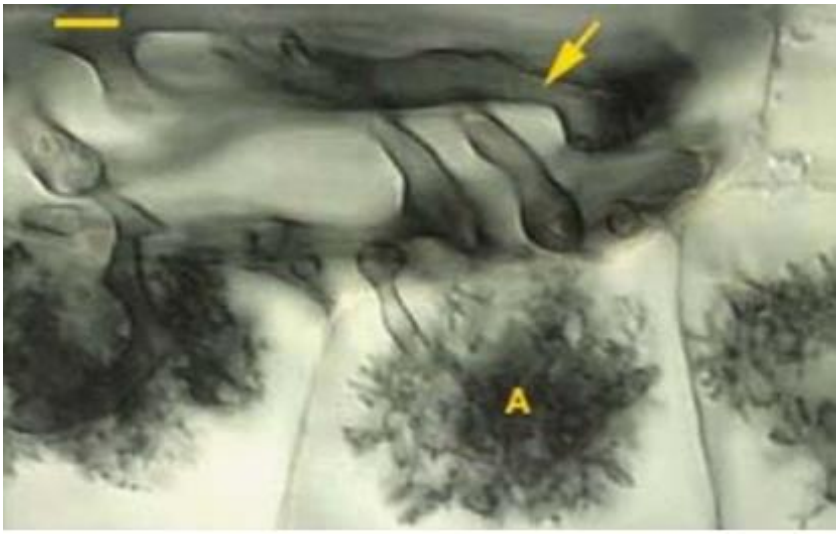
Fuente: Rojas (2010).

- A) Micelio de los HMA, sin tinción.
- B) Detalle de las hifas intrarradicales
- C Y D) Formación de vesículas
- E) Hifas tipo Arum.
- F) Hifas tipo paris colonizadas en raíces de cacao
- G) Formación de esporas en la superficie de raíces.
- H) Estructura de una hifa con reproducción de esporas.

Figura 2. Estructuras de los Hongos micorrízicos arbúsculares (MVA).

Micelio interno: Conforma el aparato de nutrición del hongo, el cual se ubica dentro de la corteza de las raíces micorrizadas. Optimiza la asimilación del recurso hídrico disponible en el suelo y favorece la interacción con otros microorganismos del suelo (Duran, 2003).

Vesículas: Estas estructuras que contienen lípidos se producen en los extremos o intercaladas (Figuras 2C y 2D), las vesículas generalmente son ovoides a elipsoides. Se forman posteriormente a los arbúsculos y son estructuras que contienen material lipídico, también se puede decir que se forman intra o intercelularmente en el sistema radical y fuera de él. Durante situaciones de estrés estas reservas se utilizan y las vesículas se degeneran (Brundrett *et al.,* 1996; Guachón y Prado, 2012).

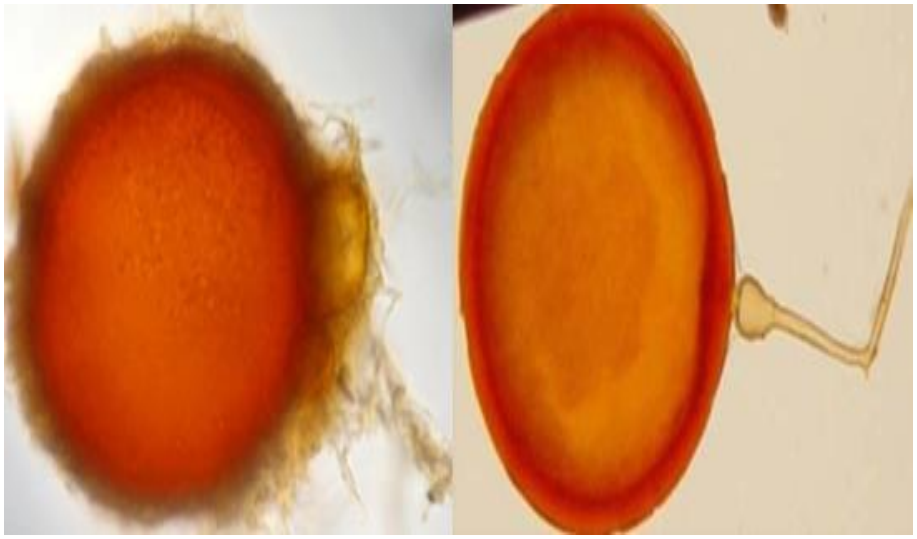


Fuente: Peterson *et al*. (2004)

- A) Imagen de un Arbúsculo desarrollado; Hifas (flecha).

Figura 3. Raíces de *Asarum canadense.* MVA, en el género *Glomus* produce arbúsculos.

Esporas: Estas estructuras (Figura 4) se forman sobre el micelio extramatrical y son órganos de reproducción asexual de los Hongos MVA, que presentan características propias constituyendo una estructura externa que permite el reconocimiento morfológico de las especies de hongo, y mide de 20 a 1000 µm, las cuales se pueden aislar del suelo cercano a raíces colonizadas (Varela y Gonzales, 2007).



Fuente: Ruiz y Rojas (2011).

Figura 4. Esporas: *Gigaspora eff Gigantea, Glomus Tortuosum*

Apresorios: Los hongos MVA al ponerse en contacto con la raíz forman una estructura sobre las células epidérmicas vegetales conocida como “apresorio” y a partir de esta estructura se producen las hifas que penetran la epidermis radicular hasta llegar a la endodermis sin atravesarla, allí comienza su ramificación continua para formar los arbúsculos, cuya vida aproximada es de 1 a 3 semanas, después de lo cual se colapsa, y parte de él se reabsorbe hacia el citoplasma hifal y el resto de componentes permanecen en la célula rodeados por el plasmalema.

2.4.2. Infección de raíces

Según Bonfante - Fasolo (1988), la colonización fúngica no produce alteraciones morfológicas distinguibles reseñables, por lo cual las técnicas microscópicas tienen un rol fundamental al momento de realizar un análisis de la colonización micorrízica. La infección solo tiene lugar en la epidermis y en el parénquima cortical de las raíces.En términos generales, las etapas básicas de la infección micorrízica son: pre colonización, penetración, colonización o infección, desarrollo del micelio externo, esporulación del hongo, re- colonización (Guerrero *et al*., 1996), Figura 5.

2.4.3. Etapas de la infección

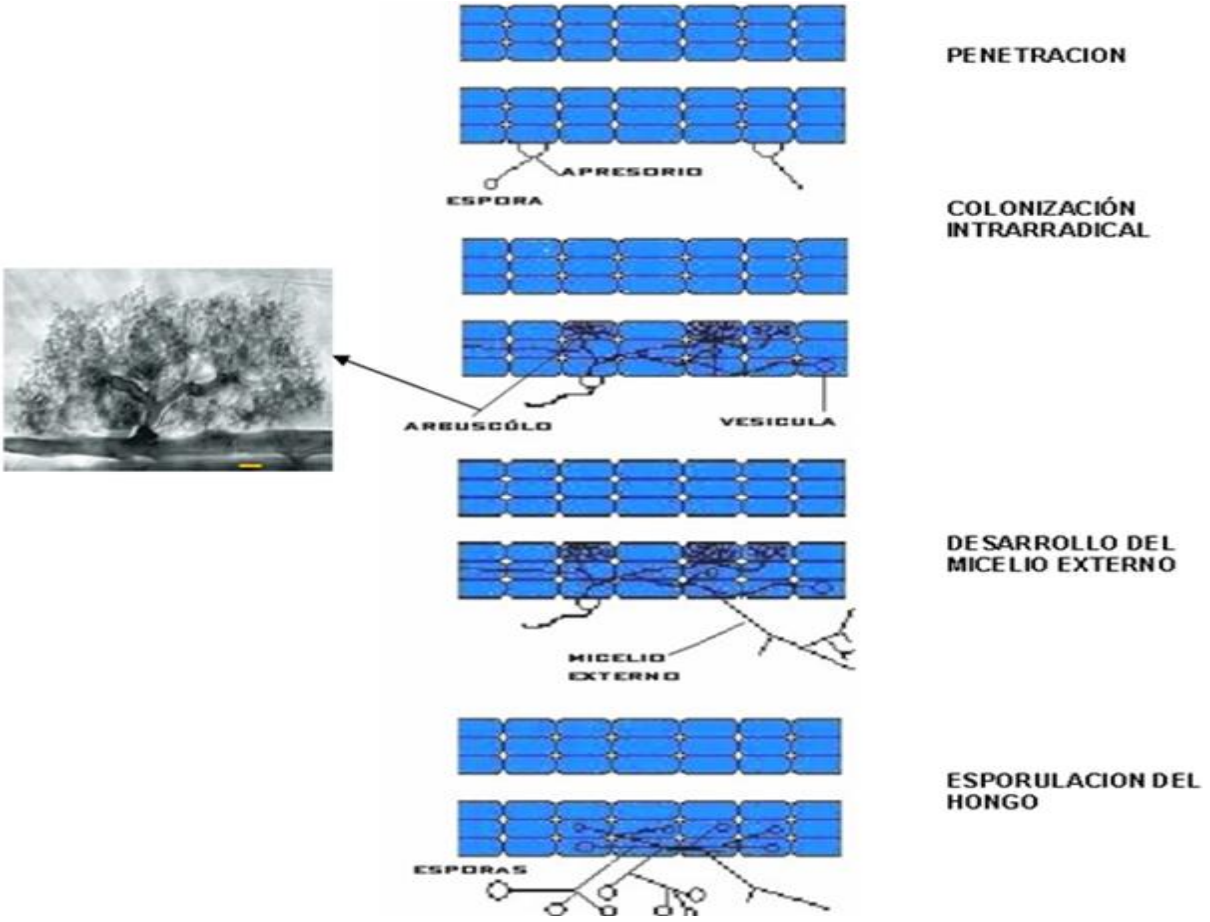
En el proceso de establecimiento de una relación simbiótica de los hongos MVA pueden diferenciarse cuatro etapas.

- ***Primera etapa o de recolonización***

Las raíces de las plantas susceptibles son infectadas con M.V.A., siempre y cuando esté presente una estructura infectiva del hongo, que luego entra en contacto con los pelos absorbentes de las raíces. Se consideran órganos o unidades infectivas: las esporas y otras estructuras del hongo u otra raíz ya infectada. Bajo condiciones favorables la infección pude ocurrir en un tiempo de 2 a 3 días (Sieverding, 1989).

- ***Segunda etapa o de colonización y distribución***

Una vez el hongo ha infectado la raíz, se distribuye en ella, creciendo intercelular e intracelularmente infectando toda la corteza de la raíz. Entrando a conformar el micelio interno, arbúsculos y vesículas. La duración del proceso de infestación depende del ambiente, de la especie vegetal y por su puesto del hongo, tardando desde 10 días hasta varias semanas (Sieverding, 1989).



Fuente: Guerrero *et al*. (1996).

Figura 5. Proceso de Infección de hongo MVA.

- ***Tercera etapa o de estabilización o efectividad***

Simultáneamente a la formación de estructuras internas, el hongo forma el micelio externo, órgano a través del cual el hongo absorbe los nutrientes y los transporta a la raíz de la planta, en este momento es cuando la simbiosis empieza a funcionar en forma benéfica para la planta (Sieverding, 1989).

- ***Cuarta etapa o de reproducción***

De 1-4 meses después de la tercera etapa, el hongo empieza a reproducirse formando esporas asexuales en el micelio externo. Las esporas son órganos de reproducción del hongo, que puede perdurar latentes por largos tiempos en el suelo, especialmente en épocas que no hay hospedero a su alcance (Sieverding, 1989).

2.5. Relaciones simbióticas en plantas – hongos MVA

Las relaciones plantas-hongos MVA se basan en el intercambio de señales de reconocimiento en las etapas de colonización y la estabilización, formando el apresorio, infectando y formando los arbúsculos en las raíces (Bago *et al.*, 2000).

La germinación de esporas y la ramificación y crecimiento de hifas germinativas es estimulada por compuestos volátiles de exudados de la raíz como el CO_2 y hormonas (Akiyama *et al.* 2005; Hause *et al.*2007), establecimiento de una relación mutualista requiere reconocimiento y alta coordinación a nivel fisiológico, morfológico y genético, a partir de una permanente comunicación celular y molecular entre los organismos involucrados en la simbiosis.

Según Parniske (2004); Parniske (2008), señala que la planta permita el ingreso del hongo MVA, sin la invasión de otros organismos, lo que implica el desarrollo de estrategias sofisticadas para percibir y responder mediante respuestas de defensa de diferente intensidad, duración y localización.

Bethlenfalvay y Linderman (1992), señalan que no solo contribuye en la nutrición de la planta puesto que explora una mayor cantidad de suelo que el de la raíz, sino también contribuye a la nutrición del suelo en cuanto que incrementa la actividad microbiana.

2.6. Clasificación taxonómica

Según Mortón (1990); Mortón y Benny (1990), durante muchos años los hongos formadores de micorrizas arbusculares se ubicaron en el orden *Endogonales* junto al género no micorrizo *Endogone*. Sin embargo, la luz de las consideraciones filogenéticas, se estableció que su condición simbiótica constituía criterios suficientes para agruparlos en un taxón particular, lo cual dio origen al orden *Glomales* y a un re-arreglo de familias. Clasificaron a los hongos micorrizicos en la división *Eumyccota*, clase *Zygomycetes*, orden *Glomales*, suborden *Glominaeae* y *Gigasporaceae* con las siguientes familias y sus géneros respectivos:

- *Glomaceae* *(Glomus, Sclerocystis)*
- *Acaulosporaceae* *(Acaulospora y Entrophospora)*
- *Gigasporaceae* *(Gigaspora y Scutellospora)*

Reino:	Hongos	
Phylum:	*Zygomycota*	
Clase:	*Zygomycetes*	
Orden:	*Glomales*	
Familias:	*Glomaceae*	(Géneros: *Glomus* y *Sclerocystis*)
	Acaulosporaceae	(Géneros: *Acaulospora* y *Scutellospora*)
	Archaeosporaceae	(Genero: *Archaeospora*)
	Paraglomaceae	(Genero: *Paraglomus*)

De otro lado, los caracteres morfológicos son a veces difíciles de distinguir, lo cual hace complicado el manejo de claves, por demás complejas. La morfología de algunas

esporas M.A es muy similar, por lo que en ocasiones puede ser muy difícil distinguir una especie de otra (Azcon y Guerrero, 1996).

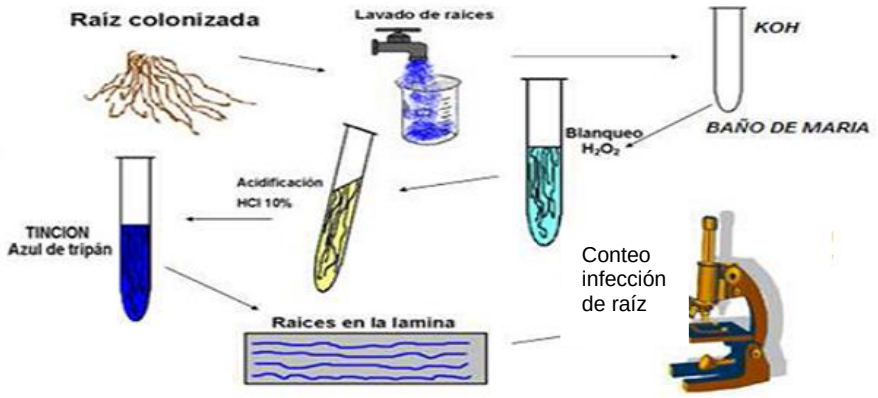
2.7. Principales beneficios de los hongos MVA

Los principales beneficios que brindan los hongos MVA a las plantas y al recurso suelo, es de favorecer la nutrición, favoreciendo el crecimiento, ramificación, de la época de floración, el número y la cálidas de flores d diferentes especies (Rubí *et a*l., 2009).
La infección del hongo en las raíces produce:

- Incremento de la síntesis de proteínas, clorofila, sustancias de crecimiento y metabolitos secundarios.
- Favorecimiento de la absorción, trasladación de nutrientes y agua.
- Aumento de la tasa fotosintética.
- Aumento en la diferenciación de los tejidos vasculares.
- Generación de nuevos organelos y del grado de vacuolación de las células corticales.

2.8. Metodología de tinción de infección de raíces

El método más ampliamente utilizado es el descrito por Philips y Hayman (1970), descrito en más detalle en la parte de metodología.



Fuente: McGonigle *et a*l. (1990).

Figura 6. Método para la tinción de las raíces

- ***Método de autofluourescencia de arbúsculos con ultravioleta inducido***

Ames et al., (1983), reportaron un método para la estimación de la infección de raíces por el hongo MVA. Autofluoresciendo arbúsculos con ultravioleta inducida bajo esas mismas condiciones las raíces infectadas por el hongo, no autofluorecen, vesículas e hifas. La preparación de la muestra a observar es en estado fresco previamente lavado con agua corriente y enjuagado con agua destilada, realizando cortes transversales de las raíces aproximadamente de 1 – 2 mm (Vega, 2011).

2.9. Cambio climático

Según IPCC (20001), el cambio climático se manifiesta a escala mundial a través de variaciones de temperatura, que a su vez tienen impacto sobre los regímenes de precipitación y frecuencia y el grado de eventos climáticos externos.

Ibisch y Merida (2003) señalan que parte de los factores humanos, el cambio climático también es influido por factores naturales.

2.9.1. El cambio climático y los hongos MVA

Un estrés ambiental en las especies vegetales, involucra baja disponibilidad de agua, patrones de lluvia altamente impredecibles, suelos con una disminución en nutrientes (nitrógeno y fosforo) con alta variación espacial temporal (Zak *et al*., 1995 y Whiford 1986).

Sylvia y Williams (1992) mencionaron que los hongos MVA son los organismos predominantes en la vecindad de las raíces y se encuentran en diferentes ambientes, aun cuando se presenten condiciones ambientales desfavorables para las plantas.Esta simbiosis permite a la planta establecerse, desarrollarse, sobrevivir en ambientes extremos (Van der Heijden, 2002).

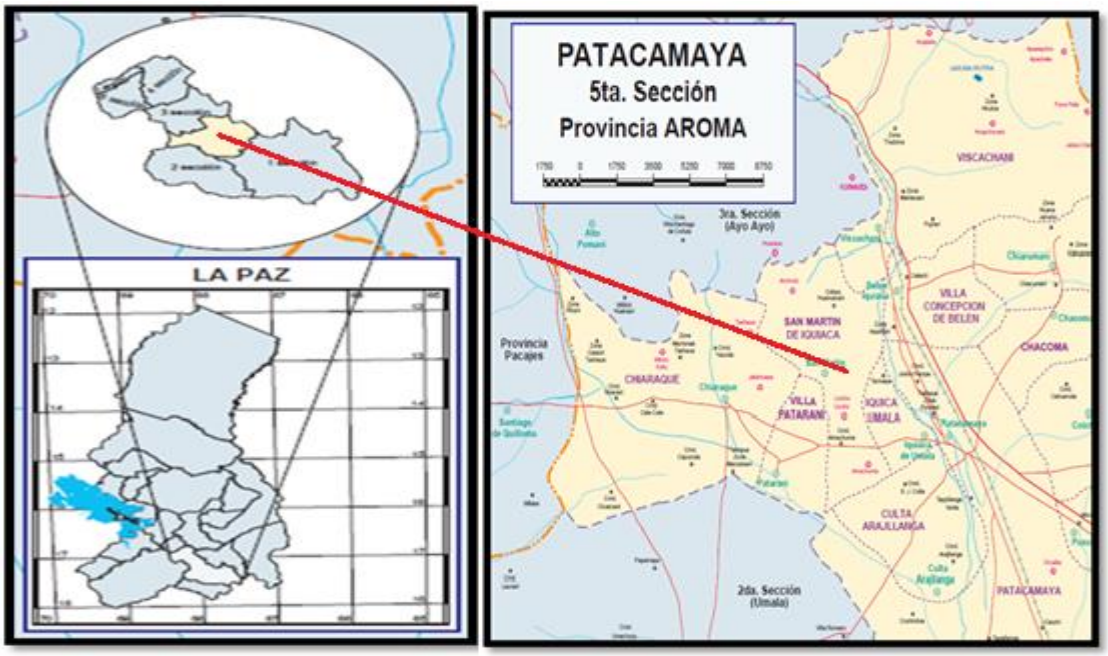
3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

El Municipio de Patacamaya se encuentra a 101 Km de la ciudad de La Paz, en la Quinta sección de la Provincia Aroma, a una altitud de 3,785 msnm (PDM Patacamaya, 2012).

3.1.1. Ubicación de las comunidades de estudio

El trabajo de campo se realizó en áreas de las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani, del cantón San Martin de Iquiaca, con sede en la Estación Experimental de Patacamaya de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, pertenecientes al Municipio de Patacamaya en la provincia Aroma del departamento de La Paz, situado a 108 km de la ciudad de La Paz, el trabajo de laboratorio se realizó en los predios de la Estación Experimental de Patacamaya de la Facultad de Agronomía, en el departamento de La Paz.



Fuente: INE (2008).

Figura 7. Mapa de ubicación de las comunidades de investigación.

- ***Comunidad Alto Patacamaya***

La comunidad de Alto Patacamaya se encuentra ubicada en una puna seca dentro del municipio de Patacamaya, estos presentan las siguientes características: suelo franco arcilloso, con pH ligeramente básico a neutro, la humedad del suelo es baja, razón por la cual la agricultura que se práctica es en condiciones de a secano, con la siembra de papa, cebada, alfalfa y quinua. Los pobladores aprovechan la época de lluvias para desarrollar esta actividad, otro rubro al que se dedican es la ganadería (PDM PATACAMAYA 2012).

- ***Comunidad Collpa Huancarani***

Collpa Huancarani se encuentra ubicado en una zona de puna húmeda del Municipio de Patacamaya, se caracteriza por tener suelos franco arenoso, con pH ligeramente acido neutro.

Respecto a la humedad de los suelos, estos se encuentran a capacidad de campo, debido principalmente a que la zona cuenta con agua para riego, razón por la cual se cultiva de dos a tres veces al año, como es el caso de la producción hortícola (lechuga, zanahoria, cebolla), algunas leguminosas (haba, arveja) y papa, misma que se cultiva en las laderas. De acuerdo a la clasificación de la séptima aproximación de la F.A.O., debido a la pendiente que presenta el terreno los siguientes cantones y comunidades pertenecen a la clase IV.

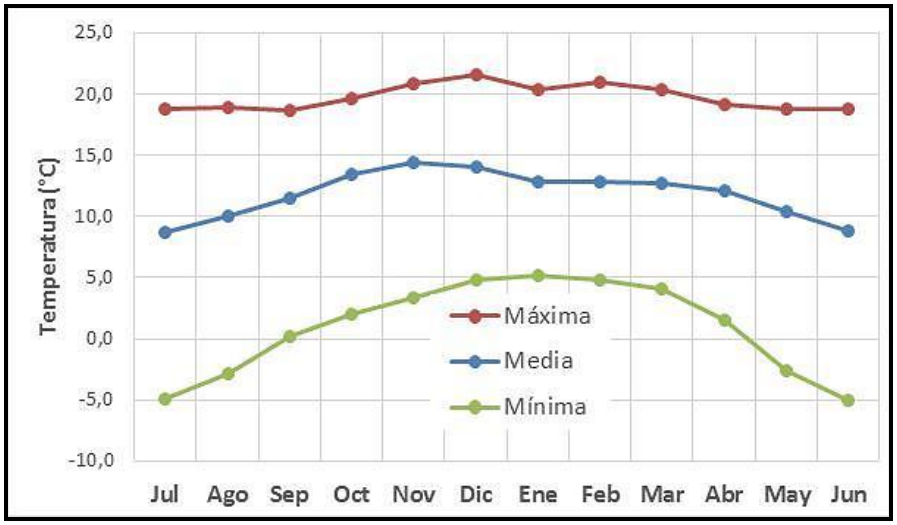
3.2. Características climáticas de la zona.

El clima se caracteriza por ser frió y seco. Existe una división entre época seca y época de lluvias, que abarca entre 8 y 4 meses respectivamente. Según ZONIZIG (1998), la radiación solar global en el área de Patacamaya alcanza valores elevados de 518 cal/cm2 día, por sus factores climáticos como por su altura y debido a su ubicación al norte del trópico de Capricornio.

3.2.1. Temperatura.

De acuerdo a la Estación Meteorológica de Patacamaya, la temperatura media se sitúa en torno a los 9,4°C, misma que oscila entre los 12,1°C en diciembre y los 5,7°C en junio, con lo cual la amplitud térmica anual es de 6,4°C. Respecto a la media de las máximas registradas, la más elevada alcanza los 20,3°C en noviembre, mientras que el valor mínimo de la media de mínimas llega a ser de -6,1°C en junio.

En Patacamaya se observa que la menor amplitud térmica diaria ocurre en la época lluviosa de enero a febrero; luego, la mayor amplitud térmica diaria ocurre de mayo a agosto.La ocurrencia de heladas suele ser de 300 días durante el año, ocasionado pérdidas en la productividad de los cultivos. También se presentan granizadas entre los meses de octubre y marzo coincidiendo con el inicio y el final de la época de lluvias.

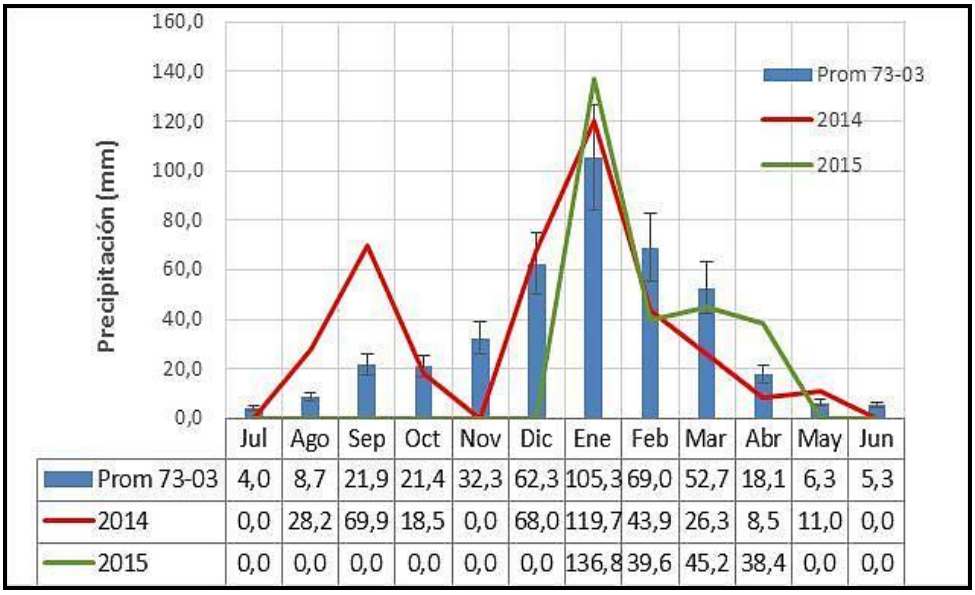


Fuente: SENAMHI Estación meteorológica Patacamaya (2015).

Figura 8. Temperatura media, mínima y máxima en el municipio de Patacamaya.

3.2.2. Precipitación

Las precipitaciones en Patacamaya se distribuyen con un máximo en verano que disminuye de forma progresiva durante otoño hasta culminar en invierno con sequía. La precipitación media anual es de 392,2 mm; registrándose las mayores precipitación es desde diciembre a febrero, por encima de los 60 mm; presentando enero una máxima de 99,4±43,9 mm; durante mayo a agosto se presentan precipitaciones por debajo de 10 mm. Asimismo, la máxima variación, en la estación de lluvias, se presenta en enero con ±43,9 mm; mientras que en la época seca, la máxima se presenta en septiembre con ±23,7 mm; desde mayo a octubre se presentan precipitaciones nulas debido a las variaciones que se observan en el siguiente gráfico.



	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Prom 73-03	4,0	8,7	21,9	21,4	32,3	62,3	105,3	69,0	52,7	18,1	6,3	5,3
2014	0,0	28,2	69,9	18,5	0,0	68,0	119,7	43,9	26,3	8,5	11,0	0,0
2015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	136,8	39,6	45,2	38,4	0,0	0,0

Fuente: SENAMHI Estación meteorológica Patacamaya (2015).

Figura 9. Comportamiento de la precipitación en el municipio de Patacamaya 2015.

3.3. 3. Suelos

Los suelos del municipio Patacamaya tienen la particularidad de ser heterogéneos debido a su origen fluviolacustre (Huanca, 2008). El contenido de materia orgánica es menor a 1%, por tanto el nitrógeno total también toma valores por debajo del 0,1%. El horizonte superficial presenta una elevada proporción de arena, pese a ello es de textura Franco Arcillo arenosa y los horizonte subsuperficiales son de textura arcillosa.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Material de campo

- Tijeras
- Chonta
- Bolsas plásticas
- Balanza
- Cilindro
- Frasco

4.1.2. Materiales de laboratorio

- Tamices de malla 400
- Tubos de ensayo
- Agujas histológicas
- Tijeras
- Estereoscopio
- Balanza analítica
- Vasos de Precipitados
- Gotero
- Barrilla
- Picetas
- Matraz
- Cajas Petri cuadriculadas 1.1X1.1 cm.

4.1.3. Material reactivos

- Hidróxido de potasio (KOH) al 10%
- Peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 10%
- Ácido clorhídrico (HCl) al 10%
- Fucsina Básica al 0.05%
- Formol-Alcohol-Ácido Acético (FAA)
- Ácido Láctico
- Glicerol
- Agua destilada

4.1.4. Material vegetal

- Raíces del cultivo de papa
- Raíces del cultivo de quinua

4.1.5. Material de gabinete

- Material de escritorio
- Computadora portátil

4.2. Métodos

El método se basó en dos fases: de campo y de laboratorio respectivamente. A continuación se detalla dichas fases de trabajo.

4.2.1. Fase de campo

4.2.1.1. Reconocimiento de campo

La investigación se realizó en las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani, donde el proyecto alcanzó su cobertura, en estas comunidades se trabajó con los dueños de las parcelas donde se realizó la recolecta de las muestras para ser analizadas y presentar un resultado que favorecerá a las mismas.

Fuente: Elaboración propia (2015).

Figura 10. Forma de muestreo en las parcelas de papa y quinua

El área de muestreo comprendió parcelas de 10 x 50 m (Ver Anexo 1 y 2) aproximadamente en las cuales se utilizaron transeptos en zig-zag para muestrear cada

5 m, se sacaron 6 muestras de cada parcela, haciendo un total de 18 muestras y un total de 36 muestras por comunidad (García, 2015).

4.2.1.2. Muestreo y evaluación de la densidad de raíces en campo

Se introdujo un cilindro de 263 cm^3 de volumen en la parte rizosférico golpeando con la ayuda de un combo, para extraer las raíces y luego pesarlas in situ.

La densidad de raíz se calculó mediante la relación de peso de raíz (g) con el volumen del cilindro, posteriormente se realizó las transformaciones a (kg/m^3).

Las muestras fueron puestas a un tamiz donde se eliminara el suelo, de esa forma se extraerá las raíces del tamiz, para luego lavarlas eliminando las partículas de suelo restantes adheridas a las muestras, una vez terminado este procedimiento se llevara a pesar para el cálculo de la densidad de raíz. Para luego sacar toda la planta y cortar las raíces finas (secundarias). Luego lavarlas con agua para eliminar los residuos de suelo restante en las muestras.

4.2.1.3. Preparación de raíces para laboratorio

Se sacaron las plantas de los cultivos para cortar las raíces secundarias con la ayuda de unas tijeras (Figura 11).

Las raíces obtenidas con el corte se lavaron con abundante agua con la ayuda de un tamiz (Figura 12A) Una vez terminado este proceso del lavado de las muestras, se colocó las muestras de las raíces en frascos juntamente con una solución de FAA (Formol-Acético-Alcohol) para su conservación (Figura 12B).

Fuente: Elaboración propia (2015).

- A) Parcela del cultivo de quinua donde se cortaron las muestras de raíz.
- B) Corte de las raíces del cultivo de papa.

Figura 11. Corte de raíces secundarias de los cultivos.

Fuente: Elaboración propia (2015).

- A) Lavado de raíces finas (secundarias).
- B) Raíces en fijador de Formol- Acido- acético (F-A-A) para su conservación

Figura 12. Lavado y conservación de raíces.

4.2.2. Fase de laboratorio

4.2.2.1. Tinción de raíces

Se realizó bajo el siguiente proceso la preparación y tinción de las raíces según Philils y Hayman (1970), que se describe a continuación:

- Las raíces fueron lavadas con agua corriente sobre un tamiz para eliminar el fijador (F-A-A) Formol-Ácido acético-Alcohol (Figura 13A). se cortaron aproximadamente 1 cm de longitud, después fueron colocadas en tubos de ensayo, a estos se añadió una solución de KOH (Hidróxido de potasio) al 10% durante 10 minutos. (Figura 15B).

- Para luego llevar las muestras a la autoclave por unos 30- 45 minutos hasta llegar a una presión de a 1,4 atmosferas, pasado este tiempo dejar enfriar, para luego eliminar KOH (Hidróxido de potasio).

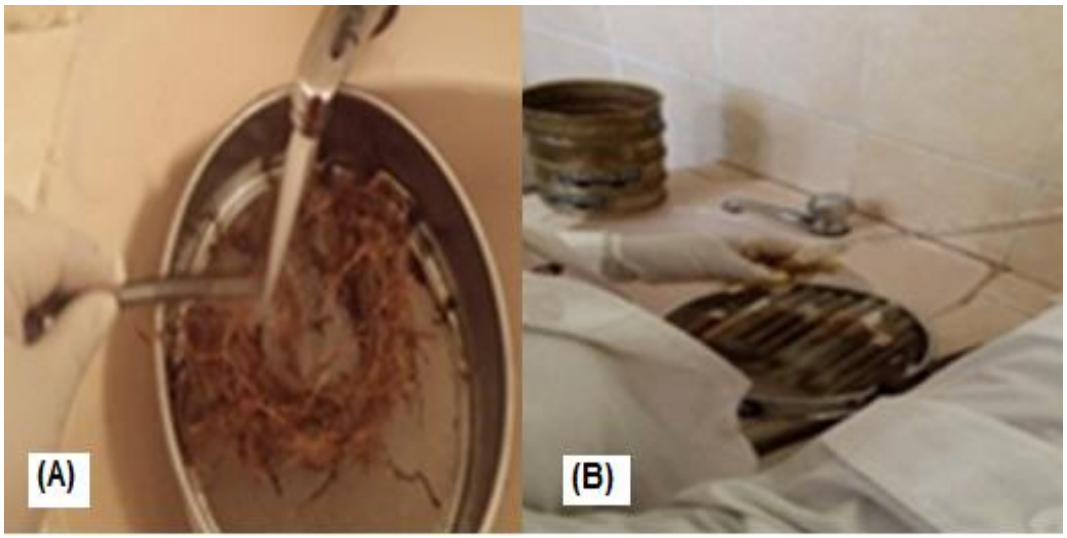
- Se lavó con agua destilada y se añadió una solución de 1:1 de KOH (Hidróxido de Potasio) y H_2O_2 (Agua Oxigenada), durante 15 minutos.

- Se eliminó la solución y se añadió una solución de HCl (Ácido Clorhídrico) 1N durante 10m minutos.

- Se virtió HCl (Ácido Clorhídrico) 1 N y se adiciono fucsina básica al 0,05%, 1 hora a temperatura ambiente y 1 hora en estufa (Baño María 15 minutos) con el objeto de eliminar el mordiente.

- Pasado este tiempo eliminar la fucsina básica.

- Se colocó las muestras en lacto glicerol para conservar las muestras (raíces) hasta donde fueron observadas.

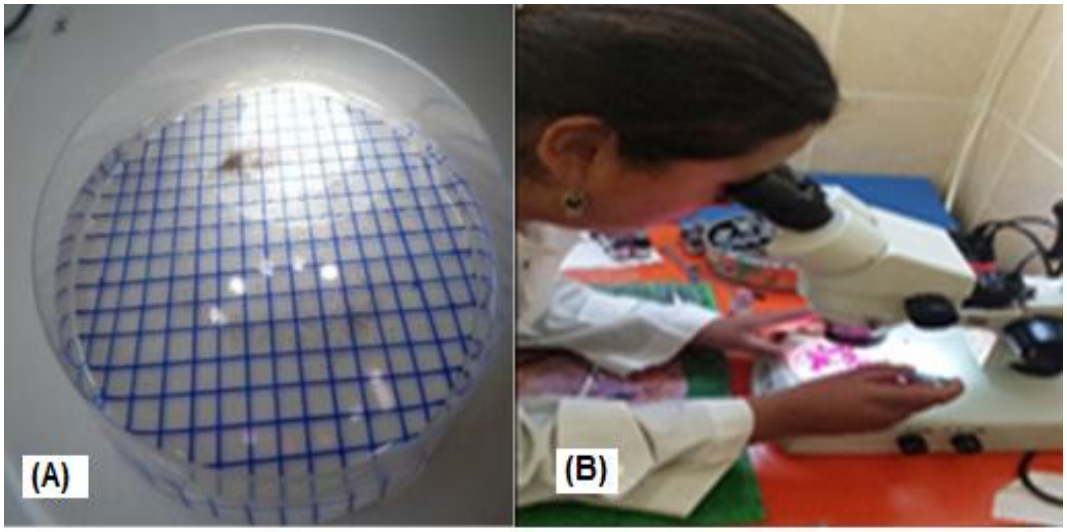


Fuente: Fotografía propia de laboratorio (2015).

- A) Lavado de raíces en el tamiz para eliminar el fijador FAA.
- B) Muestras en tubos de ensayo con KOH (Hidróxido de potasio) al 10%.

Figura 13. Fase de laboratorio.

- Para su observación se utilizó cajas Petri cuadriculadas 1,1 x 1,1 cm cortándolas y estirándolas para medir su colonización de los hongos MVA (Figura 14A). Para luego llevar las muestras al Esteroescopio (Figura 14B).



Fuente: Fotografía propia de laboratorio (2015).

- A) Caja Petri cuadriculada 1,1x1, 1 cm.
- B) observación en el estereoscopio.

Figura 14. Observación de los hongos MVA.

- El Porcentaje de infección se obtuvo con la siguiente formula:

$$\%\text{Infección} = \frac{\text{\# de intersecciones infectados}}{\text{Total de infecciones}} * 100$$

De esa manera se ha observado la colonización (infección), de los hongos MVA, con sus estructuras internas que se encuentran fuera de la raíz del hospedero (esporas), la estructuras internas presentes, dentro del hospedero (hifas internas, arbúsculos, vesículas) que son las estructura más importante del complejo de los hongos MVA, que al desarrollarse empezara el intercambio de nutrientes.

4.3. Análisis Estadístico

En el presente estudio se utilizó el análisis estadístico "T" *student,* lo cual se aplicó para comparar datos de la densidad de raíces e infección de los hongos MVA en las raíces de los cultivos de papa y quinua, entre parcelas y entre comunidades donde se realizó la presente investigación.

Con un error de 5%, determinando la posibilidad de que dos valores sean significativamente diferentes, evaluando de esta forma el grado de significancia que poseyeron los datos obtenidos ya sea que pertenecieran a la misma agrupación o agrupaciones diferentes. En esta prueba además de la media y la desviación estándar, utiliza los grados de libertad (GL), que es el número de observaciones muéstrales menos el número de parámetros que se va a estimar (Peñafiel, 2009).

4.4. Variables de respuesta para los cultivos de papa y quinua

- **Densidad de raíces (kg/cm^3 suelo)**

En el suelo rizosférico (profundidad radicular) de volumen conocido, se obtendrá los pesos y densidades de las raíces de los cultivos de papa y quinua respectivamente, (kg/cm^3).

- **Porcentaje de infección (%)**

Determinar el porcentaje de infección por los hongos MVA en las raíces los cultivos, objetivo en base a parámetros de temperatura y humedad.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Determinación de la densidad de raíces en los cultivos de papa y quinua

La densidad radicular de los cultivos de papa y quinua, se realizó un estudio previo a la infección de los hongos MVA, donde se determinó en primera instancia el análisis de promedios con su desviación estándar, con su análisis respectivo.

El análisis estadístico de la densidad de raíces de los cultivos, se trabajó con parcelas establecidas en cada comunidad (parcela 1, 2 y 3), de manera independiente, DP1, DP2 y DP3 en el cultivo de papa y DQ1, DQ2 y DQ3 en el cultivo de quinua. Se empleó la prueba estadística de "T" *Student* bajo una probabilidad y/o nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0,05$) para igual número de observaciones (n = 6 muestras por parcela y n = 18 muestras por comunidad), bajo la prueba de campana de dos colas, durante la época productiva, bajo el sistema de manejo tradicional del cultivo de papa y quinua respectivamente.

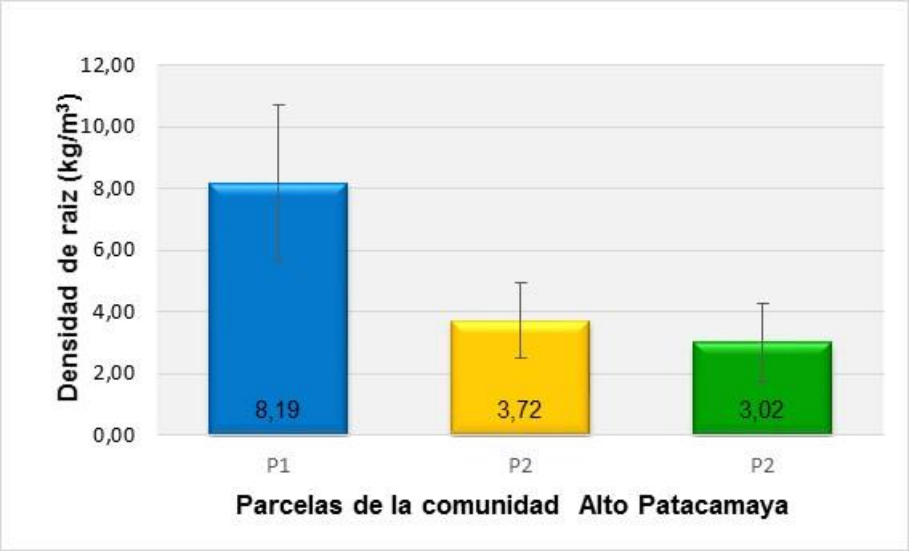
Se evaluó la densidad radicular de los cultivos en base a los datos tabulados de campo en la que se comparó las parcelas elegidas (unidades experimentales), obteniendo resultados de comparaciones parcelarias dentro y entre comunidades en cada cultivo estudiado en base al cálculo de la t tabulada (t_t), la media de la diferencia (xd), la varianza de la diferencia (S^2d), la desviación estándar de medias de la diferencia (Sd) y la t calculada (t_c), a partir del cual se realizó la comparación de resultados y conclusiones.

5.1.1. Evaluación de la densidad de raíces en el cultivo de papa

- ***Comunidad de Alto Patacamaya***

En la comunidad de Alto Patacamaya los resultados de densidad de raices del cultivo de papa (Figura 15) de la variedad Huaycha, manifestaron promedios de 8,19 ± 2,51; 3,72 ± 1,22 y 3,02 ± 1,28 kg/m^3 en las parcelas 1, 2 y 3 respectivamente, bajo las condiciones de clima y altitud de la zona en el municipio de Patacamaya. Se evidencia el comportamiento diferenciado entre las parcelas de estudio dentro la comunidad.

La parcela 1 (DP1), muestra superioridad en la densidad radicular calculada de papa en relación a las parcelas 2 y 3 (DP2 y DP3), debido a la disposición de las mismas, pudiendo ser un determinante de la búsqueda de agua y nutrientes para el desarrollo del cultivo.



Fuente: Elaboración propia datos de campo (2015).

Figura 15. Densidad de raíz de papa en Alto Patacamaya.

Según De Lorenzi (1993); Ellis *et al*. (1985), señalan que la cantidad de raíces está relacionado con el volumen de agua presente en el medio (suelo) que en periodos de estrés hídrico, la cantidad de raíces aumenta.

Con respecto a la comparación estadística de la densidad radicular del cultivo de papa en las parcelas dentro la comunidad de Alto Patacamaya, con la prueba de T *student* (Cuadro 1), indica que entre las parcelas DP1 – DP2 y DP1 – DP3, la t_c es mayor a la t_t, por consiguiente se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha), lo que indica que existen diferencias significativas entre las parcelas comparadas dentro la comunidad, es decir que la densidad de raíces, estadísticamente son de comportamiento diferenciado y/ó heterogéneo.

Asimismo, en la comparación de las parcelas DP2 - DP3, ocurrió todo lo contrario, siendo la t_c menor a t_t, por lo que se acepta la hipótesis nula, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las dos parcelas evaluadas, estadísticamente son de comportamiento similar u homogéneo.

Cuadro 1. Densidad de raíces en el cultivo de papa en las parcelas de Alto Patacamaya.

Comunidad	Alto Patacamaya		
Densidad de raíces (unidades experimentales)	Parcela 1 (P1)	Parcela 2 (P2)	Parcela 3 (P3)
Hipótesis: H_o: Las densidades de raíz en el cultivo de papa son similares			
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,571		
Cálculos en la comparación de parcelas:	DP1 - DP2	DP1 - DP3	DP2 - DP3
Media de la diferencia *xd*:	4,47	5,17	0,70
Varianza de la diferencia S^2d:	3,99	7,77	4,89
Desviación estándar de medias de la diferencia *Sd*:	0,82	1,14	0,90
Calculo de la t calculada t_c:	5,48	4,54	0,77

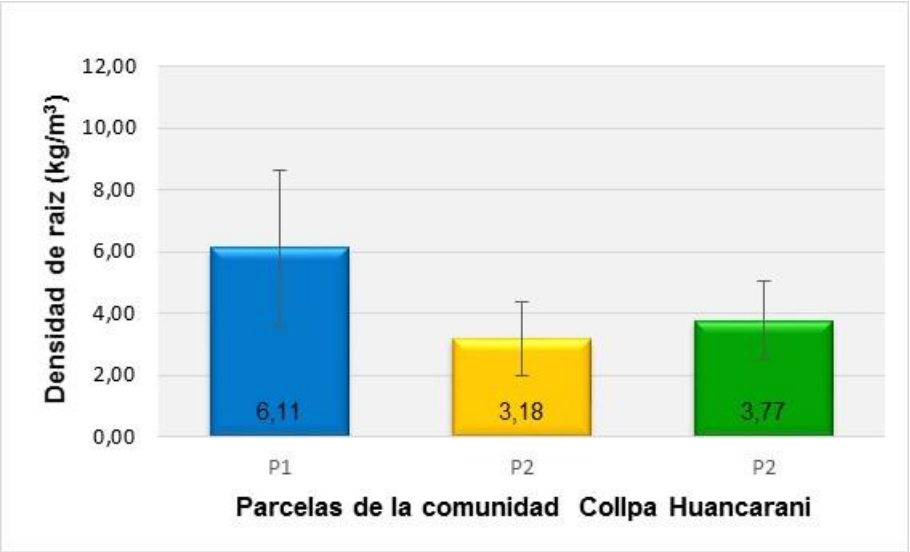
Fuente: Elaboración propia (2015)

Este comportamiento se atribuyó al sistema de muestreo mostrando homogeneidad, similitud fisiológica, además Alto Patacamaya es una zona de cultivos a secano, lo cual presento periodos largos de falta de humedad, siendo así que la densidad de raíces es influida por las condiciones del suelo (Franco arenoso) y factores climáticos (humedad y temperatura).

Villafuente (2008), expresa que la papa desarrolla mejor en suelos profundos con buen drenaje, prefrentemente franco arenosos, variando en longitud radicular dependiendo tambien a las caracteristicas ambientales del un determinado sitio.

- ***Comunidad de Collpa Huancarani***

En la comunidad de Collpa Huancarani los resultados de raíces del cultivo de papa (Figura 16) de la variedad Huaycha, manifestaron promedios de 6,11 ± 2,62; 3,18 ± 1,11 y 3,77 ± 2,49 kg/m^3 en las parcelas 1, 2 y 3 respectivamente, con comportamiento diferenciado en cuanto a su desarrollo radicular como en el caso anterior de la comunidad (Alto Patacamaya).



Fuente: Elaboración propia datos de campo (2015).

Figura 16. Densidad de raíz de papa en Collpa Huancarani.

Presenta mayor densidad radicular la parcela DP1, respecto a DP2 y DP3, suponiendo esta variabilidad a los factores citados en el análisis de la anterior comunidad. Por otra parte se puede asumir el mayor desarrollo radicular en DP1 por su ubicación próxima a un rio, lo cual pudo influenciar en la cantidad de raíces, por la humedad.

Respecto al análisis estadístico (Cuadro 2), las parcelas evaluadas referente al comportamiento de crecimiento de raíces en el cultivo de papa, según la prueba de T de *student* entre las parcelas DP1 – DP2 y DP2 – DP3, la t_c es menor a la t_t, por consiguiente se acepta la hipótesis nula (Ho), lo que indica que no existen diferencias significativas entre las parcelas comparadas dentro de esta comunidad, es decir que la formación de la densidad de raíces, son de comportamiento similar homogéneo.

Asimismo, en la comparación de las parcelas DP1 - DP3, se evidencia lo contrario, siendo que la t_c es mayor a la t_t, por lo que se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha), lo que indica que existen diferencias significativas entre las dos parcelas evaluadas, estadísticamente la densidad de raíces son de comportamiento no similar y/o heterogéneo.

Cuadro 2. Densidad de raíces en el cultivo de papa, Collpa Huancarani.

Comunidad	Collpa Huancarani		
Densidad de raíces (unidades experimentales)	Parcela 1 (DP1)	Parcela 2 (DP2)	Parcela 3 (DP3)
Hipótesis: H_o: Las densidades de raíz en el cultivo de papa son similares			
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,571		
Cálculos en la comparación de parcelas:	PD1 - DP2	DP1 - DP3	DP2 - DP3
Media de la diferencia *xd*:	2,94	2,34	-0,59
Varianza de la diferencia S^2d:	10,59	3,54	8,32
Desviación estándar de medias de la diferencia *Sd*:	1,33	0,77	1,18
Calculo de la t calculada t_c:	2,21	3,05	-0,50

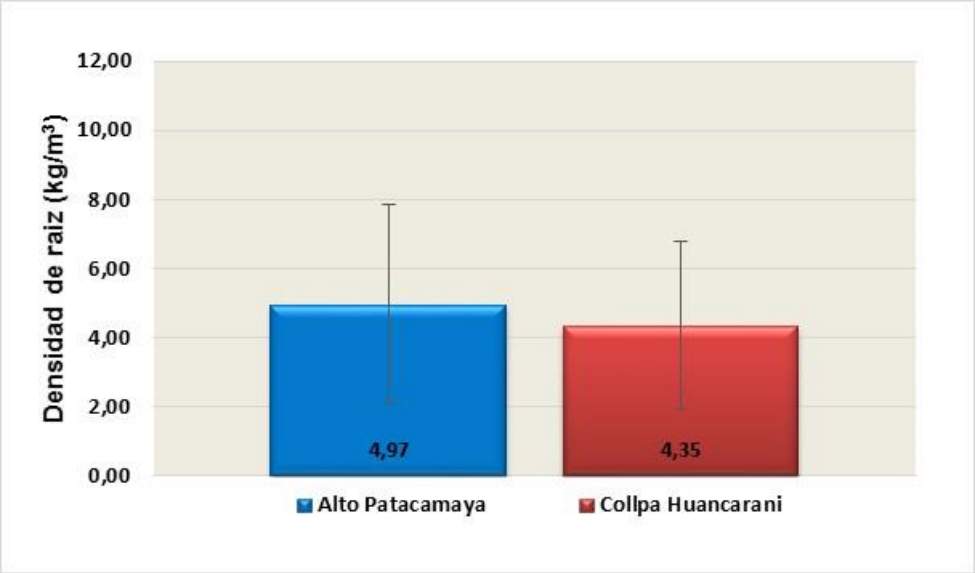
Fuente: Elaboración propia (2015).

Este comportamiento fue debido que las parcelas de esta comunidad se encontraban cerca de un rio, lo cual pudo influenciar en la cantidad de raíces presentes en esta área, existiendo así condiciones de humedad adecuada. Además la homogeneidad, similitud fisiológica y manejo adecuado por parte de los agricultores (abonamiento, riego, labores culturales), el tipo de suelo (Franco arenoso), no pudieron afectar a la cantidad de raíces.

En este sentido Bosque (2010), indica que cuando existen buenas características genéticas, características del suelo, nivel de agua en el suelo y nutrientes impide el crecimiento del sistema radicular, en busca de estas características.

- ***Comparación parcelaria entre comunidades***

En la Figura 17 se observa los promedios de densidad radicular del cultivo de papa en las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani respectivamente, presentando promedios de 4,97 ± 2,88 y 4,35 ± 2,43 kg/m^3, con ligera superioridad en la comunidad de Alto Patacamaya, siendo no significativo. De forma general se evidencia el comportamiento similar de la formación radicular del cultivo, bajo las condiciones actuales de suelo, clima y altitud de la zona, pudiendo ser igual o de lo contrario variar en mayor o menor grado con otras zonas aledañas del altiplano central.



Fuente: Elaboración propia datos de campo (2015).

Figura 17. Densidad de raíces del cultivo de papa en las comunidades de estudio.

Según Lescynski y Tanner (1976), mencionan que la densidad de papa está alrededor de 5,2 kg/m^3. Siendo menor en el caso estudiado suponiendo estos resultados por los factores físico – químicos del suelo de la zona altiplánica (profundidad de la capa arable, la cantidad de agua en el suelo, textura, estructura y elementos nutritivos pobres y otros).

Según King y Atark (200), señalan que la reducción de la planta en el caso específico del sistema radicular, es limitada por la cantidad agua existente entre la raíz y el suelo, además de las características físicas.

El análisis estadístico de la densidad radicular del cultivo de papa a nivel de las comunidades citadas, con la prueba de T *student* (Cuadro 3), la t_c es menor a la t_t, aceptando la hipótesis nula (Ho), indicando que no existe diferencias significativas entre las parcelas evaluadas de las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani.

Cuadro 3. Densidad de raíces de papa en Alto Patacamaya y Collpa Huancarani.

Comunidades	Alto Patacamaya - Collpa Huancarani	
Densidad de raíces (unidades experimentales)	Alto Patacamaya (PAP)	Collpa Huancarani (PCH)
Hipótesis: H_o: Las densidades de raíces en el cultivo de papa son similares		
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,110	
Cálculos en la comparación de parcelas:	PAP- PCH	
Media de la diferencia *xd*:	-0,62	
Varianza de la diferencia S^2d:	8,14	
Desviación estándar de medias de la diferencia *Sd*:	0,67	
Calculo de la t calculada t_c:	0,92	

Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

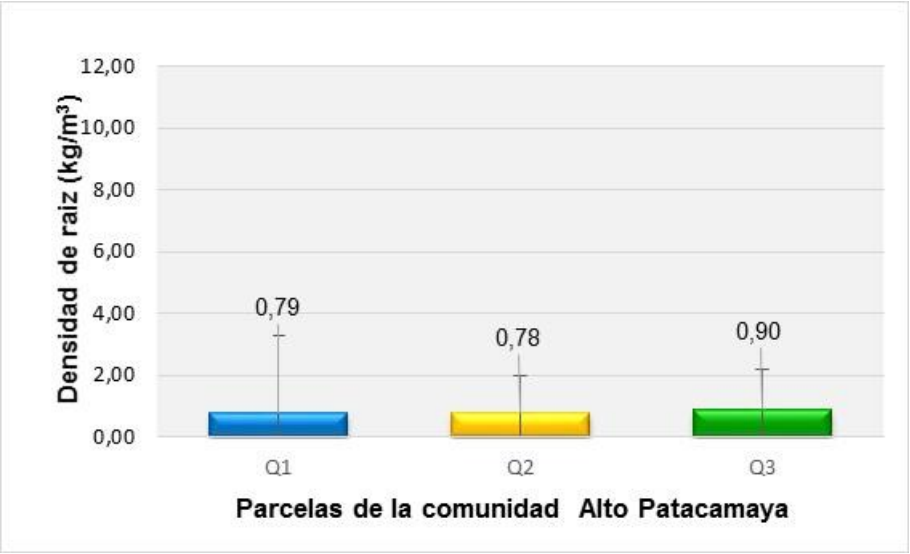
Esta similitud de la densidad de raíces en el cultivo de la papa entre las comunidades citadas puede deberse por las condiciones similares de suelo en características físicas, puesto que ambas presentan texturas de franco arenoso (Huanca, 2008; Análisis de suelo del Municipio de Patacamaya, 2010 Ver Anexo 3), siendo uno de los determinantes de crecimiento de raíces de una misma especie.

En este sentido Gregory (1999), concluyo que la morfología de la raíz (longitud, diámetro, cantidad de pelos absorbentes, distribución) está determinado por el tipo de suelo para la captación de agua y nutrientes.

5.1.2. Evaluación de la densidad de raíces en el cultivo de quinua

- ***Comunidad de Alto Patacamaya***

En la comunidad de Alto Patacamaya los resultados de la densidad de raíces del cultivo de quinua de la variedad Jacha Grano (Figura 18) manifiestan promedios, de 0,79 ± 0, 22, 0,78 ± 0,67 y 0,90 ± 0,66 kg/m^3 en las parcelas 1, 2 y 3 respectivamente. Observándose así una mínima variación mínima o significativa en el desarrollo radicular del cultivo de quinua dentro las parcelas de la comunidad.



Fuente: Elaboración propia datos de campo (2015).

Figura 18. Densidad de raíz de quinua en Alto Patacamaya.

La comparación estadística de la densidad radicular de quinua en las parcelas dentro la comunidad, con la prueba de T *student*, (Cuadro 4); de forma general entre las parcelas DQ1 – DQ2; DQ1 – DQ3 y DQ2 – DQ3, la t_c es menor a la t_t, por consiguiente se acepta la hipótesis nula (Ho), lo que indica que no existen diferencias significativas entre las parcelas comparadas dentro la comunidad, es decir que la densidad de raíces, estadísticamente son de comportamiento similar y/ó homogéneo.

Cuadro 4. Densidad de raíces en el cultivo de quinua de Alto Patacamaya.

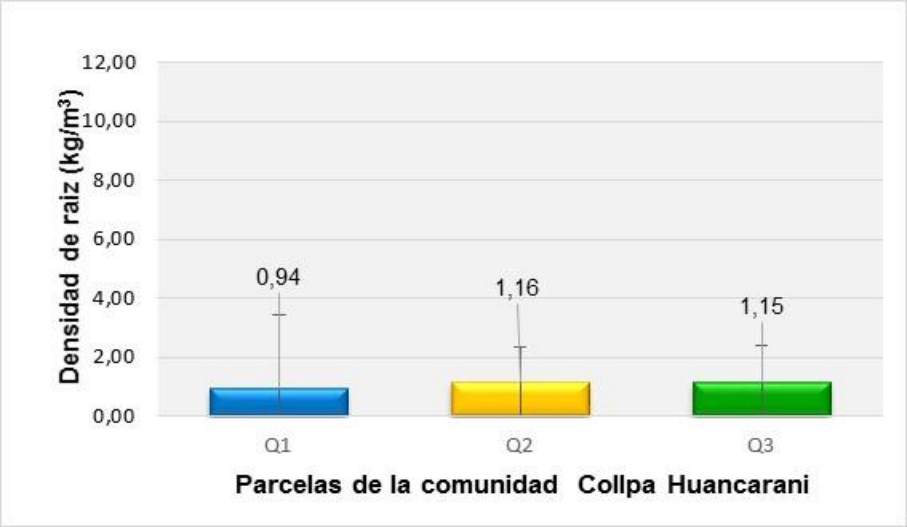
Comunidad	Alto Patacamaya		
Densidad de raíz (unidades experimentales)	Parcela 1 (DQ1)	Parcela 2 (DQ2)	Parcela 3 (DQ3)
Hipótesis: H_o: Las densidades de raíz en el cultivo de quinua son similares			
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,571		
Cálculos en la comparación de parcelas:	DQ1 -DQP2	DQ1 - DQ3	DQ2 - DQ3
Media de la diferencia *xd*:	0,01	-0,11	-0,12
Varianza de la diferencia S^2d:	0,37	0,38	0,03
Desviación estándar de medias de la diferencia *Sd*:	0,25	0,25	0,07
Calculo de la t calculada t_c:	0,02	-0,45	-1,64

Fuente: Elaboración propia (2015).

Las parcelas de esta comunidad se encontraban lado a lado con las parcelas del cultivo de papa, presentando similitud en humedad y suelo, además en el momento de muestreo las plantas de este cultivo tuvieron similitudes morfológicas y fisiológicas similares.

- ***Comunidad de Collpa Huancarani***

En la comunidad de Collpa Huancarani los resultados de la densidad de raíces (Figura 19), se manifiestan promedios, de 0,94 ± 0,33; 1,2 ± 0,48 y 1,15 ± 0,57 kg/m^3 en la parcelas DQ1, DQ2 y DQ3 respectivamente, bajo condiciones de características del Altiplano Central. Presentando de esa forma una mínima variación no significativa en el desarrollo radicular en las parcelas.



Fuente: Elaboración propia datos de campo (2015).

Figura 19. Densidad de raíz de quinua en Collpa Huancarani.

Según la prueba de T *student*, la comparación de la densidad radicular del cultivo de quinua (Cuadro 5), entre las parcelas DQ1 - DQ2; DQ1 - DQ3 y DQ2 - DQ3, existe una similitud estadística, siendo la t_c menor a la t_t, aceptando la hipótesis nula (Ho), lo que indica que no hay diferencias significativas entre las parcelas dentro la comunidad.

Cuadro 5. Densidad de raíz en el cultivo de quinua de Collpa Huancarani.

Comunidad	Collpa Huancarani		
Densidad de raíz (unidades experimentales)	Parcela 1 (DQ1)	Parcela 2 (DQ2)	Parcela 3 (DQ3)
Hipótesis: H_o: Las densidades de raíz en el cultivo de quinua son similares			
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,571		
Cálculos en la comparación de parcelas:	DQ1 - DQ2	Q1 - DQ3	DQ2 - DQ3
Media de la diferencia *xd*:	-0,22	-0,20	0,01
Varianza de la diferencia S^2d:	0,17	0,36	0,47
Desviación estándar de medias de la diferencia *Sd*:	0,17	0,25	0,28
Calculo de la t calculada t_c:	-1,28	-0,83	0,05

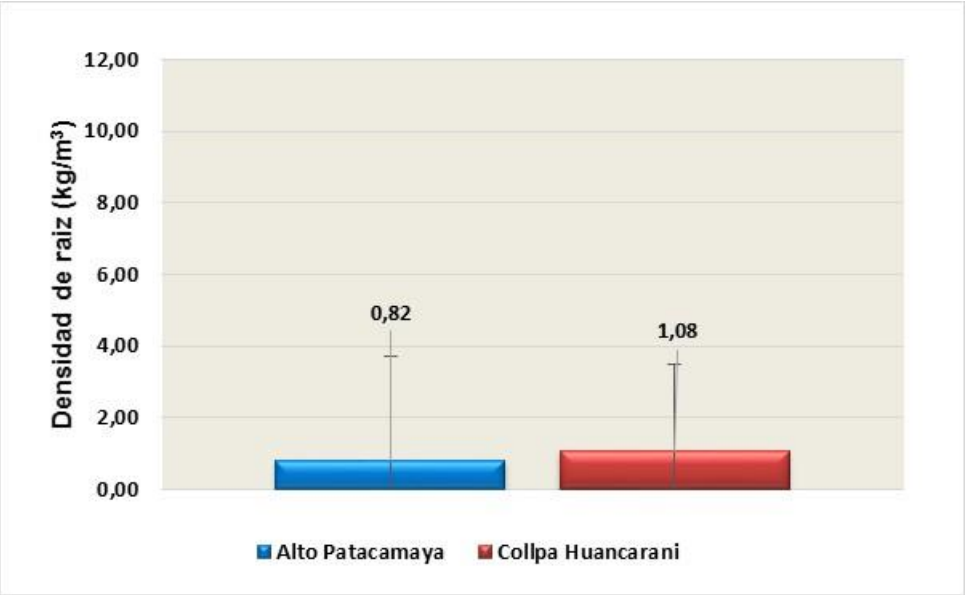
Fuente: Elaboración propia (2015).

Estos resultados pueden ser a razón que en estas parcelas no se contaba con riego, es por eso hace que la raíz sea más larga y abundante para poder hidratar a la planta. Por otro lado el cultivo de quinua soporta condiciones ambientales adversas de humedad y temperatura. Siendo un cultivo que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permitan no solo escapar al déficit de humedad, sino tolerar y resistir la falta de humedad de los suelos.

- ***Comparación parcelaria entre comunidades***

En la Figura 20 se observa los promedios de la densidad radicular del cultivo de quinua en las comunidades evaluadas, presentando promedios de 0,82 ± 0,07 y 1,08 ± 0,12 kg/m^3 respectivamente, con ligera superioridad en la comunidad de Collpa Huancarani con relación a Alto Patacamaya, pudiendo deberse esta mínima diferencia al manejo del cultivo (preparación, descanzo, labores culturales, rotación de cultivos y otros). De la misma forma que en el cultivo de papa la formación radicular del cultivo de quinua, bajo

las condiciones actuales de suelo, clima y altitud de la zona, pudiendo variar en mayor o menor grado con otras zonas del altiplano central y en específico con el municipio de Patacamaya.



Fuente: Elaboración propia datos de campo (2015).

Figura 20. Densidad de raíz de quinua en Collpa Huancarani.

Bazile (2014), indica que la densidad de raíz en quinua es de 2,5 kg/m^3. Valores elevados a comparación de la investigación, asumiendo estos datos por los factores citados en el anterior cultivo, que intervienen en el suelo a nivel de la zona altiplánica.

Según la prueba de T *student*, la comparación de la densidad radicular del cultivo de quinua (Cuadro 6), entre las parcelas DQ1 – DQ2; DQ1 – DQ3 y DQ2 – DQ3, hay similitud estadística, siendo la t_c menor a la t_t, aceptando la hipótesis nula (Ho), lo que indica que no hay diferencias significativas entre las parcelas dentro la comunidad.

Cuadro 6. Densidad de raíz de quinua, Alto Patacamaya y Collpa Huancarani.

Comunidades	Alto Patacamaya-Collpa Huancarani	
Densidad de raíz (unidades experimentales)	Alto Patacamaya (AP)	Collpa Huancarani (CH)
Hipótesis: H_o: Las densidades de raíz en el cultivo de quinua son similares		
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,110	
Cálculos en la comparación de parcelas:	AP	CH
Media de la diferencia *xd*:	-0,16	
Varianza de la diferencia S^2d:	0,49	
Desviación estándar de medias de la diferencia *Sd*:	0,29	
Calculo de la t calculada t_c:	-0,56	

Fuente: Elaboración propia (2015).

Esta similitud del sistema radicular del cultivo de quinua entre las dos comunidades citadas se debió a los características físicas del suelo (Franco arenoso), donde este cultivo presenta buen desarrollo.

Bonifacio (2003), menciona que la quinua se desarrolló en suelos con textura franco arenosos además que es resistente al estrés hídrico a diferencia de otros cultivos andinos, recuperando más rápidamente a la condición hídrica estable.

5.2. Evaluación de infección de los hongos MVA en cultivos de papa y quinua

La infección de los hongos MVA, se determinó en primera instancia de forma simple bajo análisis de promedios con su desviación estándar, con su análisis respectivo.

Referente al análisis estadístico de la infección de raíces de los hongos MVA en los cultivos estudiados, se trabajó sobre las mismas parcelas (parcelas 1, 2 y 3), de manera independiente en las comunidades citadas, codificados como IP1, IP2 e IP3 en el cultivo de papa e IQ1, IQ2 e IQ3 en el cultivo de quinua. Se empleó la prueba estadística de "T" *Student* bajo un nivel de significancia de 5% (α = 0,05) para igual número de observaciones (n = 6 y 18 muestras por parcela) previa transformación de los datos obtenidos (Arc sen) para el ajuste respectivo dentro y entre comunidades, bajo la prueba de campana de dos colas, similar al análisis anterior.

Se evaluó la infección de los hongos MVA en parcelas en base (unidades experimentales), su relación con los factores de importancia climática de la temperatura y humedad del suelo respectivamente, datos tabulados de campo, con resultados de comparaciones parcelarias dentro y entre comunidades en cada cultivo estudiado en base a la prueba de T *student* ya descrita.

5.2.1. Porcentaje de infección en el cultivo de papa

El Cuadro 7, muestra el porcentaje promedio de infección de las raíces del cultivo de papa con los parámetros climáticos de humedad y temperatura en las parcelas de las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani.

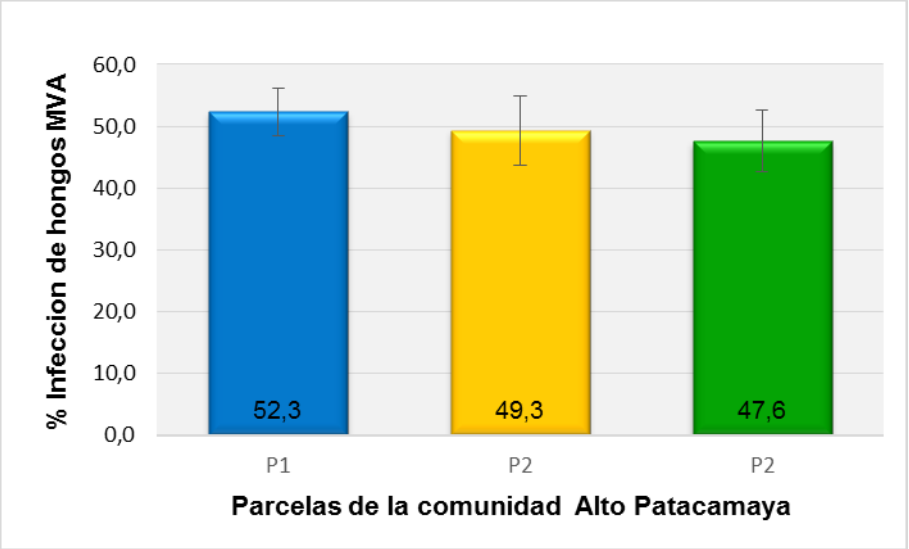
Cuadro 7. Porcentaje promedio de infección en raíces de papa con relación a los factores climáticos de humedad y temperatura.

Comunidad	Parcelas	Infección (%)	Humedad (mm)	Temperatura (ºC)
Alto Patacamaya	P1	52,3	0,5	14,6
	P2	49,3	0,3	15,3
	P3	47,6	0,3	16,8
Collpa Huancarani	P1	49,4	0,7	12,2
	P2	49,7	0,5	14,1
	P3	48,7	0,5	15,7

Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Este comportamiento muestra que la infección e mayor con ata temperaturas y humedades alta, los valores más bajos de la infección se presentan cuando las temperaturas en altas y húmedas del suelo son bajas. Por lo tanto , e puede deducir que las infecciones no solo dependen de la temperatura, pero más de las condiciones de humedad de suelo, pero en un intervalo especifico, e decir las infecciones aumentan entre los 0,5 y0, 7 mm de humedad y temperatura entre 12 y 14 ºC.

- ***Comunidad de Alto Patacamaya***



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Figura 21. Porcentaje de infección en papa en las parcelas de Alto Patacamaya.

En la comunidad de Alto Patacamaya los resultados de infección de hongos MVA del cultivo de papa (Figura 21), presenta promedios 52,3 ± 3,9; 49,3 ± 5,7 y 47,6 ± 5,1 porcentaje de infección en las parcelas P1, P2 y P3 respectivamente bajo los factores climáticos de humedad y temperatura (Cuadro 7), pudiendo variar en mayor o menor proporción la infección de los hongos MVA.

La parcela P1 presento mayor humedad (Cuadro 7) como también un elevado porcentaje de infección, lo que puede indicar que la humedad influye en el proceso de infección. Según Agrios (1992), indica que la humedad infiere en el desarrollo y el proceso de germinación de loa hongos (Anexo 5).

Sin embargo las parcelas P2 y P3 se mantienen constantes, con su relación a la humedad (Cuadro 7), lo que indica que la presencia de agua en el perfil del suelo es indiferente (Anexo 6).

Las temperaturas (Cuadro 7), fueron variando según el momento de obtención de las muestras observándose de esa manera que si la temperatura sube la infección reduce.

Cuadro 8. Infección de hongos MVA en el cultivo de papa, Alto Patacamaya.

Comunidad	**Alto Patacamaya**		
Infección (tratamientos)	Parcela 1 (P1)	Parcela 2 (P2)	Parcela 3 (P3)
Hipótesis: H_o: Las infecciones de los hongos MVA son similares en el cultivo de papa			
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,571		
Cálculos en la comparación de parcelas:	P1 - P2	P1 - P3	P2 - P3
Media de la diferenca xd:	3,00	4,72	1,72
Varianza de la diferencia S^2d:	72,22	14,92	103,99
Desviación estándar de medias de la diferencia Sd:	3,47	1,58	4,16
Calculo de la t calculada t_c:	0,86	2,99	0,41

Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

La comparación estadística (Cuadro 8), entre las parcelas P1 - P2 la t_c es menor a t_t por lo tanto aceptamos la hipótesis nula (Ho) y rechazamos la hipótesis alterna (Ha) no existiendo así diferencias significativas entre estas parcelas.

Entre las parcelas P1 - P3 y P2 - P3 la t_c es mayor a t_t por lo siguiente rechazamos la hipótesis nula (Ho) y aceptamos la hipótesis alterna (Ha) existiendo diferencias significativas entre estas comparaciones entre parcelas.

Las condiciones de esta comunidad es a secano, lo que da entender que el cultivo de papa se expone a extensos periodos de falta de agua, por esa razón el cultivo logra desarrollar más cantidad de raíz para absorber la cantidad de agua necesaria para el cultivo a base de condiciones desfavorables, esto para la captación de agua y nutrientes.

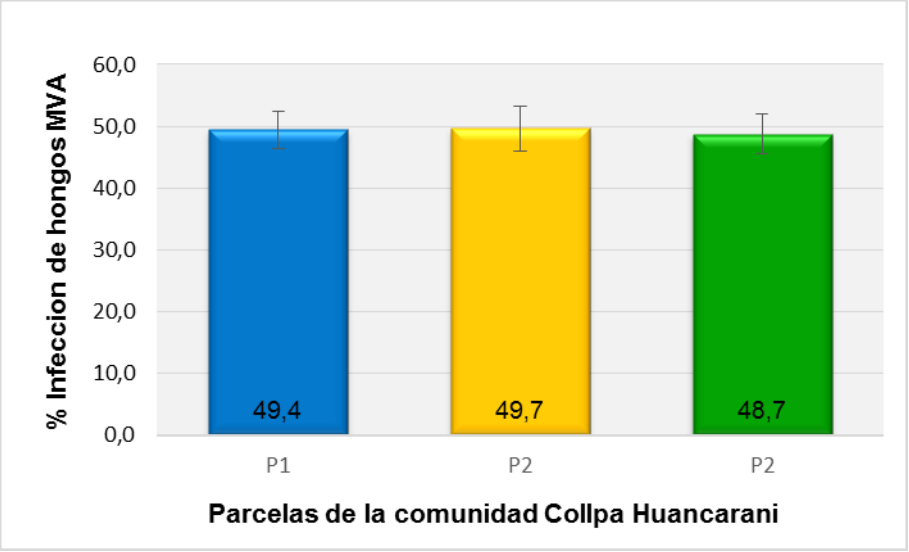
Sin embargo los periodos largos de falta de agua en el cultivo de papa, juega un papel importante en el crecimiento de los hongos MVA bajo condiciones de estrés hídrico como es el caso de esta comunidad, puesto que estos hongos MVA se desarrollan bajo estas condiciones para ayudar a la planta a combatir la falta de agua en el cultivo (Ruiz-Lozano *et al*., 1995).

- ***Comunidad de Collpa Huancarani***

En la comunidad de Collpa Huancarani los resultados del porcentaje de infección de hongos MVA del cultivo de papa (Figura 22) presentan un promedio de 49,4 ± 3,1; 49,7 ± 3,6 y 48,7 ± 3,2 en las parcelas P1, P2 y P3 respectivamente bajo los factores climáticos de humedad y temperatura (Cuadro 7), pudiendo variar en mayor o menor proporción la infección de los hongos MVA.

La humedad del suelo no presenta una relación con el porcentaje de infección de los hongos MVA (Cuadro 7), pero si en el proceso del mismo Jeffries y Dodd (1991), señalan el proceso de infección es indiferente a la cantidad de humedad en el suelo (Anexo 7).

Con respecto a la temperatura no existe una relación entre el porcentaje de infección, demostrando un incremento de temperatura y una disminución de porcentaje de infección (Anexo 8).



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Figura 22. Infección de hongos MVA en el cultivo de papa, Collpa Huancarani.

Existe variación de temperatura lo cual llega afectar a la cantidad de microorganismos que alberga el suelo. Sin embargo la temperatura presenta una relación directa con el incremento para el porcentaje de infección (Sáenz, 2002).

Según la comparación estadística del porcentaje de infección del cultivo d papa en las parclas dentro la comunidad de Collpa Huancarani, con la prueba de T *student* (Cuadro 9), indica que entre las parcelas P1 - P2; P2 - P3 y P1 – P3 la t_c es menor a t_t por lo tanto aceptamos la hipótesis nula (Ho) y rechazamos la hipótesis alterna (Ha) no existiendo así diferencias significativas entre estas parcelas.

Cuadro 9. Infección de hongos MVA en el cultivo de papa, Collpa Huancarani.

Comunidad	**Collpa Huancarani**		
Infección (tratamientos)	Parcela 1 (P1)	Parcela 2 (P2)	Parcela 3 (P3)
Hipótesis: H_o: Las infecciones de los hongos MVA son similares en el cultivo de papa			
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,571		
Cálculos en la comparación de parcelas:	P1 - P2	P1 - P3	P2 - P3
Media de la diferencia xd:	-0,23	0,71	0,93
Varianza de la diferencia S^2d:	18,95	19,30	37,41
Desviación estándar de medias de la diferencia Sd:	1,78	1,79	2,50
Calculo de la t calculada t_c:	-0,13	0,39	0,37

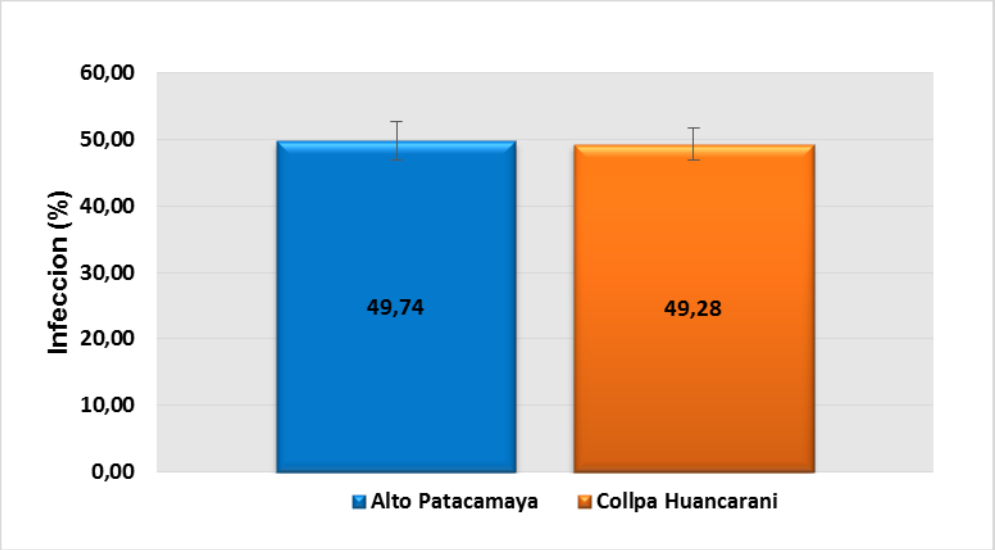
Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Las parcelas de esta comunidad presentaron mejores condiciones tanto como en el manejo del cultivo y del terreno, además el cultivo presentaba características similares lo cual es una ventaja para el desarrollo del mismo. Sin embargo la infección de los hongos MVA estuvo presente a pesar de encontrarse cercano a un rio (Kheto), lo cual podría ser un factor desfavorable para la infección.

Ferreira *et al*. (2011) y Ordoñez (2001), señalan que la infección de hongos MVA responden negativamente a una humedad alta, debido a la falta de oxígeno, descomposición de materia orgánica y el conjunto de sustancias producidas en este proceso, que inhiben la infección de hongo MVA.

- ***Comparación parcelaria entre comunidades***

En la Figura 23 se observa los promedios de porcentaje de infección del cultivo de papa en las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani respectivamente, presentando los valores de 49,74 ± 2,38 y 49,28 ± 0,48 respectivamente.



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Figura 23. Infección de hongos MVA de papa en las comunidades de estudio.

Con respecto al análisis estadístico que las comunidades Alto Patacamaya y Collpa Huancarani (APP vs CHP) según el análisis de la campana con dos colas la t_c es menor a t_t por lo tanto aceptamos la hipótesis nula (Ho) y rechazamos la hipótesis alterna (Ha) no existiendo así diferencias significativas entre las comunidades.

Cuadro 10. Análisis de comparación entre comunidades en papa.

Comunidades	**Alto Patacamaya Collpa Huancarani**	
Infeccion (tratamientos)	Alto Patacamaya (APP)	Collpa Huancarani (CHP)
Hipótesis: H_o: Las infección de raíz en el cultivo de papa son similares		
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,110	
Cálculos en la comparación de parcelas:	APP	CHP
Media de la diferencia xd:	0,46	
Varianza de la diferencia S^2d:	37,39	
Desviación estándar de medias de la diferencia Sd:	1,44	
Calculo de la t calculada t_c:	0,321	

Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

El promedio de humedad en las comunidades Alto Patacamaya y Collpa Huancarani fueron de 0,36 y 0,56 mm siendo de esta manera el déficit de humedad no presenta relación directa con el porcentaje de infección de los hongos MVA.

Algunos autores señalan que la falta de agua sobre la infección micorrízica dentro y fuera de la raíz (rizósfera) es indiferente, la abundancia de la infección de hongos MVA en la raíz se ven afectados por la humedad, los niveles bajos de humedad en el perfil del suelo, estimula la infección de hongos MVA lo cual produce que el hongo infecte a la planta hospedera para evitarle el estrés hídrico (Sánchez, 1999).

Los promedios de temperatura del suelo de las comunidades Alto Patacamaya y Collpa Huancarani fueron de 15,5 ºC y 14 ºC respectivamente, lo cual indica que el incremento de temperatura reduce el porcentaje de infección.

La temperatura adecuada para la infección de hongos MVA con características climáticas como el altiplano es de 10ºC (Wang y Hamel, 2000).

Al existir una similitud estadística en ambas comunidades, indica que la infección de los hongos MVA, en el cultivo de la papa es favorable para la productividad ya que incrementa la absorción de nutrientes esenciales para el cultivo (especialmente fosforo),

cual el no contar con este elemento, el sistema radicular es limitado reduciendo el rendimiento y calidad del tubérculo (Jeffries *et al*., 2003; Smith y Read, 2008).

La posibilidad de la infección de los hongos MVA, en el cultivo de papa en ambas comunidades son resultados coherentes obtenidos por Álvarez (2016), el cual indica que la población de esporas en el suelo ha tenido altas probabilidades de infectar a la raíz de la planta, debido a que anualmente las raíces están presentes para la interacción, por lo que el porcentaje de infección y la población de micorrizas (esporas) tiene una alta correlación (Anexo 8 y 9).

5.2.2. Infección de hongos MVA en quinua

El Cuadro 11, detalla el comportamiento espacial de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani en el cultivo de quinua con relación a la humedad y temperatura registrada en el Municipio de Patacamaya.

Cuadro 11. Porcentaje promedio de infección en raíces de quinua con relación a los factores climáticos de humedad y temperatura.

Comunidad	Parcelas	Infección (%)	Humedad (mm)	Temperatura (ºC)
Alto Patacamaya	Q1	5,8	0,5	14,9
	Q2	0,0	0,3	15,0
	Q3	5,7	0,3	15,7
Collpa Huancarani	Q1	5,4	0,5	13,3
	Q2	11,4	0,3	13,8
	Q3	3,1	0,3	14,6

Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

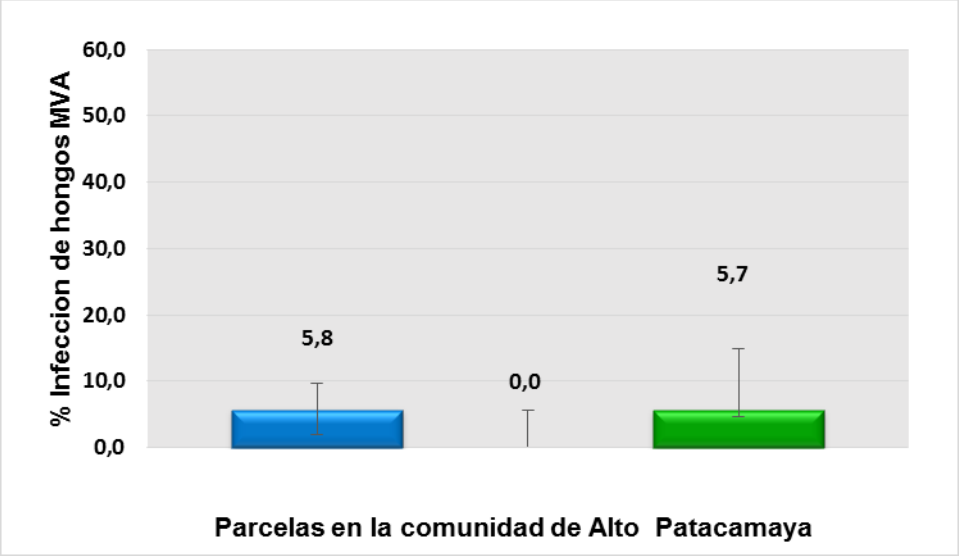
Este comportamiento muestra que la 9infeccion era alta en un intervalo de 0,3, y 0,5 mm de humedad y temperaturas entre 13 y14 ºC, mostrando que la infección depende de la temperatura más que la humedad ya que en humedades pequeña, existe posibilidad de mantener un porcentaje de infección.

- ***Comunidad Alto Patacamaya***

En la comunidad de Alto Patacamaya los resultados del porcentaje de infección de los hongos MVA del cultivo de quinua (Figura 24), presenta promedios de 5,8 ± 9,9; 0 ± 0 y 5,7 ± 9,2 porcentaje de infección en las parcelas Q1, Q2 y Q3 respectivamente bajo los factores climáticos de humedad y temperatura (Cuadro 11).

Al igual que las parcelas del cultivo de papa la humedad no presenta una relación con el porcentaje de infección de los hongos MVA (Anexo 11).

La relación de temperatura con el porcentaje de infección es un factor favorable tomando en cuenta el establecimiento de los hongos MVA (Anexo 12) para su desarrollo (germinación de las esporas en el suelo, penetración de la hifa a la raíz y su desarrollo en el interior de las células de la corteza).



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Figura 24. Porcentaje de infección en papa en las parcelas de Alto Patacamaya.

El análisis estadístico de la comparación de las parcelas Q1 - Q2; Q1 - Q3 y Q2 - Q3 (Cuadro 12) la t_c es menor a t_t por lo tanto aceptamos la hipótesis nula (Ho) y

rechazamos la hipótesis alterna (Ha) no existiendo así diferencias dentro las parcelas de esta comunidad.

Cuadro 12. Análisis de comparación entre comunidades en quinua, Alto Patacamaya.

Comunidad	**Alto Patacamaya**		
Infección tratamientos)	Parcela 1(Q1)	Parcela 2(Q2)	Parcela 3 (Q3)
Hipótesis: H_o: Infección de hongos MVA en el cultivo de quinua similares			
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,571		
Cálculos en la comparación de parcelas:	Q1 - Q2	Q1 - Q3	Q2 - Q3
Media de la diferencia xd:	5,77	0,09	-5,68
Varianza de la diferencia S^2d:	98,40	139,69	84,91
Desviación estándar de medias de la diferencia Sd:	4,05	4,83	3,76
Calculo de la t calculada t_c:	1,42	0,02	-1,51

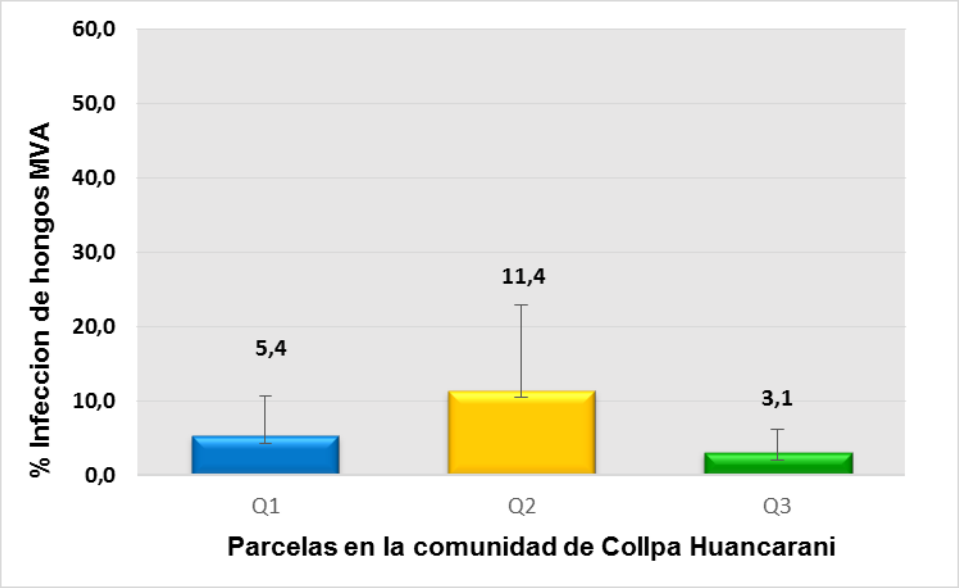
Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Las parcelas de esta comunidad se encontraban lado a lado de las parcelas de papa, por lo cual presentan las mismas condiciones de suelo, sobre todo de déficit de agua la cual puede existir una similitud estadística tanto en la densidad de raíz como en el porcentaje de infección.

A pesar que este cultivo no presenta micorrización como la mayoría de las *Chenopodaceae* (Ocampos, 1980), se evidenció la presencia de esporas, que podría ser de un cultivo anterior (papa), como también la infección en las raíces observadas en el laboratorio en las muestras del cultivo (quinua).

- ***Comunidad de Collpa Huancarani***

En la comunidad de Collpa Huancarani los resultados del porcentaje de infección de hongos MVA del cultivo de quinua (Figura 25) se observa el promedio de 5,4 ± 8,6; 11,4 ± 8,1 y 3,1 ± 7,6 porcentajes de infección Q1, Q2 y Q3 en las tres parcelas



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Figura 25. Infección de hongos MVA en el cultivo de papa, Collpa Huancarani.

La humedad del suelo no presenta ninguna relación con el porcentaje de infección en esta cultivo (Anexo 13), al igual que la temperatura (Anexo 14).

Asimismo en la comparación de parcelas de Q1 - Q2; Q1 - Q3 y Q2 - Q3 según análisis de la campana con dos colas la t_c es menor a t_t se rechaza la hipótesis alterna (Ha) y aceptamos la hipótesis nula (Ho) no existen diferencias significativas entre las comunidades.

Cuadro 13. Infección de raíz en el cultivo de quinua, Collpa Huancarani.

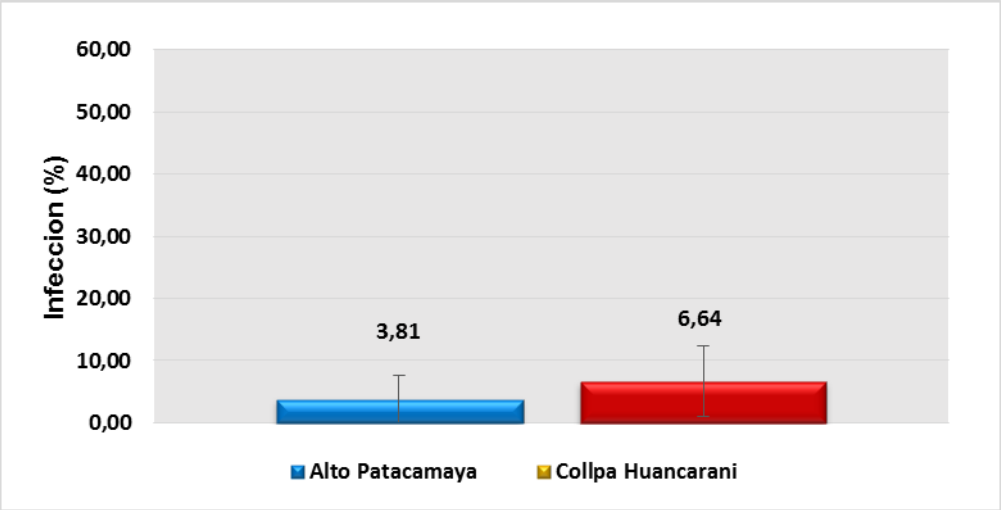
Comunidad	**Collpa Huancarani**		
Infección (tratamientos)	Parcela 1(Q1)	Parcela 2(Q2)	Parcela 3 (Q3)
Hipótesis: H_o: Infección de los hongos MVA de papa son similares			
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,571		
Cálculos en la comparación de parcelas:	Q1 - Q2	Q1 - Q3	Q2 - Q3
Media de la diferencia xd:	-6,08	2,23	8,31
Varianza de la diferencia S^2d:	223,44	26,18	209,91
Desviación estándar de medias de la diferencia Sd:	6,10	2,09	5,91
Calculo de la t calculada t_c:	-1,00	1,07	1,41

Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

En las parcelas de esta comunidad presentaban un déficit de agua, al encontrarse alejadas del cultivo de papa, por otro lado las plantas xerofitas como la quinua son capaces de resistir a condiciones de estrés hídrico recuperando fácilmente su condición hídrica incluso pueden prescindir de la infección de los hongos MVA.

- ***Comparación parcelaria entre comunidades***

En la Figura 26 se observa los promedios de porcentaje de infección en el cultivo de quinua en las comunidades de Collpa Huancarani y Alto Patacamaya presentando promedios de 2,12 ± 4,9 y 3,27 ± 4,83 de porcentaje de infección respectivamente.



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Figura 26. Infección de hongos MVA de quinua en las comunidades de estudio.

Los promedios encontrados en ambas comunidades son altos con relación a estudios anteriormente realizados con este cultivo que dan resultados de 0% (Sivila y Herve, 1993).

A pesar interacción planta-hongo no todos los cultivos son infectados por los hongos MVA, debido a causas diversas, como la presencia de sustancias toxicas para el hongo.

Según García (2015), establece que la familia de las *Chenopodaceae* (Amaranto, quinua, espinaca, remolacha) no desarrolla micorrizas ya que desprenden ácido mostazico, que es un fungicida.

Analizando el Cuadro 14 podemos indicar, que las comunidades Alto Patacamaya y Collpa Huancarani (APQ vs CHQ) según el análisis de la campana con dos colas la t_c ± 1,177 es menor a t_t ± 2,110 por lo siguiente aceptamos la hipótesis nula (Ho) y rechazamos la hipótesis alterna (Ha) no existiendo diferencias significativas entre las comunidades.

Cuadro 14. Comparación de infección en quinua, en ambas comunidades.

Comunidades	**Alto Patacamaya Collpa Huancarani**	
Densidad de raíz (tratamientos)	Alto Patacamaya (APQ)	Collpa Huancarani (CHQ)
Hipótesis: H_o: Las densidades de raíz en el cultivo de papa son similares		
Calculo de t_t (α = 0,05):	±2,110	
Cálculos en la comparación de parcelas:	APQ	CHQ
Media de la diferencia xd:	-2,82	
Varianza de la diferencia S^2d:	103,37	
Desviación estándar de medias de la diferencia Sd:	2,40	
Calculo de la t calculada t_c:	-1,1774	

Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Por ser un cultivo que al parecer no presenta infección de hongos MVA y la población de esporas reduce cuando está presente este cultivo, se evidencio una presencia alta de esporas que posiblemente pudieron infectar a las raíces.

Resultados que coinciden con los obtenidos por Álvarez (2016), el que indica que la población de micorrizas ha tenido altas probabilidades de infectar a la raíz de la planta, debido a que anualmente las raíces están presentes o pueden ser de un cultivo anterior (papa) por lo tanto el número de esporas presenta una alta correlación con el porcentaje de infección (Anexo 15 y 16).

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultadlos obtenidos y en función a los objetivos trazados, el presente trabajo de investigación considera las siguientes conclusiones.

1. La densidad de raíz encontrada en el cultivo de papa (4,97 Kg/m^3 y 4,35 Kg/m^3) y quinua (0,82 Kg/m^3 y 1,08 Kg/m^3) en las comunidades de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani fueron menores (5,2 Kg/m^3 en papa y 2,5 Kg/m^3 en quinua) con respecto a otros estudios ya realizados, existiendo la probabilidad de encontrar menor cantidad de raíces así mismo la relación con el porcentaje de infección de los hongos MVA, en un escenario árido y semiárido, de clima seco, como es el Altiplano central.

2. Las raíces evaluadas de los cultivos de papa presentaron estructuras de hongos MVA (esporas, hifa, arbúsculos, vesículas), presentando un porcentaje de infección en el cultivo de 49,7% en Alto Patacamaya y 49,3% en Collpa Huancarani, no mostrando diferencias significativas entre ambas comunidades.

3. Con respecto al cultivo de quinua, los porcentajes encontrados fueron 3,8% de infección en Alto Patacamaya y 6,6% de infección en Collpa Huancarani, un porcentaje alto encontrado puesto que este cultivo (quinua) no logran ser infectadas por la cantidad de sustancias antagónicas para la presencia de hongos MVA (como el ácido moztazico). Pero la presencia de esporas y otras estructuras de los hongos MVA provenientes de campañas anteriores, mostraron una cantidad mínima de infección en las muestras de raíces.

4. En el momento del muestreo no se registraron precipitaciones ya que se salía de una época húmeda, por lo tanto dentro del suelo se encontraba una cantidad de humedad retenida de 0,3 a 0,7 mm (l/m^2) tanto ambos cultivos en las dos comunidades. Entonces se dice que la humedad afecta indirectamente o directamente a la infección, así mismo diversas investigaciones señalan que la

infección es más frecuente cuando las plantas se encuentran en un estrés hídrico, debido a que las hifas del hongo llegan a profundidades que la raíz no puede llegar para la absorción de agua y nutrientes.

5. Las temperaturas fueron también variadas indicando que a mayor temperatura menor es el porcentaje de infección datos observados en el cultivo de papa en ambas comunidades de estudio. Por otro lado las promedios de la comunidades de Alto Patacamaya fue 15,9ºC y 13.9 ºC en Collpa Huancarani, entrando a un rango óptimo para la infección de los hongos MVA, temperaturas óptimas para que suceda la infección en raíces en ambientes como características del Altiplano Central está entre los 10ºC a 23ºC, estando

6. No existe una relación de la infección de los hongos MVA en las raíces de los cultivos de papa y quinua con la temperatura y la precipitación, principales variables del posible efecto del cambio climático en la zona de investigación, tanto en las comunidades de Alto Patacamaya como en Collpa Huancarani del municipio de Patacamaya.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio que permita determinar los géneros formadores de los hongos MVA.

- Tomando en cuenta la base de esta investigación, realizar a nivel laboratorio para el seguimiento de la infección y ver los beneficios para plantas, partiendo de la función de los microrganismos debe continuar evaluando en las diferentes estaciones y en periodos continuos con la finalidad de determinar la infección.

- Realizar la inoculación de las esporas al cultivo de quinua para evidenciar el proceso de infección en el cultivo y validar lo encontrado en esta investigación.

- Los resultados obtenidos a partir de esta investigación debe servir para motivar a realizar posteriores trabajos de investigación, por lo que se recomienda hacer trabajos en propagación e inoculación.

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGARWAL, P.; SAH, P. 2009. Ecological importance of ectomycorrhizae in world forest Agroecology: the key role of arbúscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*20:519-530 p.

AGUILERA-GÓMEZ, LI.; OLALDE-PORTUGAL, V.; ARRIAGA, MR.; CONTRERAS, A. R. 2008. Efecto del abono verde de *Canavalia ensiformis* (Canavalia) en sistemas agrícolas. Centro de Información Documental Agropecuaria CIDAGRO, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP); 7 p.

AKIYAMA, K.; MATSUZAKI, K.; HAYASHI, H. 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*. 435: 824-827 p.

AMES, R.N.; REID, C.P; PORTER, L.K y CAMBARDELLA, C. 1983. Hyphal uptake and tranport of nitrogen from two N labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytoloqist*; 96:331-360 p.

BAGO, B., PFEFFER E., SHACHAR, Y. 2000. Carbon Metabolism and Transport in Arbuscular Mycorrhizal. *Plant Physiol*. 124: 949-958 p.

BETHLENFALVAY, G.J.; LINDERMAN, R.G. 1992. Les bacteries auxiliaires de la mycorhi. *In* Mycorrhizae in sustainable agriculture. Ed. by GARBAYE, J. 1994. G.J. Bethlenfalvay and R. G. Linderman. Madison, zation: une nouvelle dimension de la symbiose my Wisconsin, USA. ASA Special Publication Number corhizienne. Acta bot. Gallica 141(4):517-521.54. 45-70 p.

BONFANTE - FASOLO. (1988). The role of the cell wall as a signal in mycorrhizal associations. Cell to cell signals in plant, animal and microbial symbiosis. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. 219-235 p.

BRUNDRETT, M., BOUGHER, N., DELL B., GROVE, T., MALAJCZUK, N. 1996. Working withmycorrhizas in forestry and agriculture. Australia: ACIAR Monograph.

CACERES, V. E. 1993. Cultivos Andinos, La Paz, INAN.130 p.

ESPINOZA, A.S. 2013. Caracterización morfológica de esporas de micorrizas del Genero *Glomus* sp. A nivel de invernadero y de campo en el cultivo de soya *Glycine max* L. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Escuela de Biología. Tesis previa a la obtención del Título de Biólogo.

FERREIRA, E.; SELLÉS, G.; GIL, P. M. 2011. Asfixia radicular en huertos de paltos: Manejo del riego y suelo. *En*: INNOVA Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletin *INIA* 231. 11-14 p.

GANDARILLAS, A. 2001. Historia de la investigación para el desarrollo agropecuario en Bolivia Ed. Carlos G; Antonio G. Cochabamba Bolivia; 79-139 p.

GARCIA, M. S. 2015. Inoculo de micorriza: beneficio y cómo hacerlo *Rev.*: *Vdevgetal* vida sana y ecología.

GARCIA-APAZA, E.; MENA, C.; PALACIOS, N.; GUTIERRES, F.; CACHI, I.; TARQUI, N.; APANQU, R. 2015. La seguridad hídrica y el manejo del estrés como estrategia de adaptación al cambio climático. 19-25 p.

GONZALES DE OLARTE, E. **1994.** En las fronteras del mercado: Economía política del campesinado en el Perú. Instituto de Estudios Peruanos, Lima. 339 p.

GREGORY, J.P. 1992. Crecimiento y funcionamiento de las raíces, en A. Wild (cood), condiciones del selo y desarrollo de las plantas segun Russeli. 121-172 p.

GUACHÓN, T. y PRADO, M. 2012. Evaluación del efecto del inóculo Micorrízico Arbuscular en el crecimiento de Cinchonapubescens y Cinchonaofficinalis en condiciones de vivero. (Tesis de Grado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

GUERRERO, E.; RIVILLAS, C. y RIVERA, E. 1996. Perspectivas de manejo de la micorriza arbúscular en ecosistemas tropicales. En Guerrero E. (Ed.), Micorrizas. Recurso Biológico del suelo. Fondo FEN Colombia, Bogotá; 181-20 p.

GUIROLA, V. e IZNAGA, R. 2013. El cultivo de papa (*Solamun tuberosum* L), Caracterización Botánica y Agro-morfológica; 5 p.

GUZMÁN-GONZALES, S. y FARÍA-LARIOS, J. 2005. Biología y regulación molecular de la micorriza Arbúscular. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9, 17-31.

IBISCH P. L. AND G. MÉRIDA, 2003 Biodiversidad. La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. FAN. Santa Cruz de la Sierra - Bolivia.

INE (Instituto Nacional de Estadística). 2008. Encuesta Nacional Agropecuaria 2008. Instituto Nacional de Estadística. 43 p.

IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático por sus siglas en inglés). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

JAKOBSEN, I., L. K. ABBOTT, AND A. D. ROBSON. 1992. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with Trifolium subterraneum L. 2. Hyphal transport of 32P over defined distances. *New Phytol*. 120:509-516.

JEFFRIES, P.; DODD, J.C. 1991. The use of mycorrhizal inoculants in forestry and agriculture. In: Handbook of applied mycology: *Soil and Plants*. Edited D. K. Aroroa; B. Rai; K.G. Mukerji; G. R. Knudsen. New York, US. MARCEL DEKKER. INC. p. 155-185.

JORGE, L.A.C. 2006. Sistema Radicular: Atualização do Método Siarcs. *En*: HOLANDA, F.S.R., CINTRA, F.L.D. y PEDROTTI, A. eds. "Desafíos de Carbono Manejo Conservacionista". Aracajú, EMBRAPA-UFS, 2006. 203-224 p.

KARANDASHOV, V.; KUZOVKINA, I.; HAWKINS, H.J.; GEORGE, E. 2000. Growth and sporulation of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus caledonium* in dual culture with transformed carrot roots. Mycorrhiza 10: 23-28.

KORMANIK, P. P. Y MCGRAW, A. C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots', in N. C. Schenck (ed) *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*, American Phytopathological Society, St. Paul.

KOSKE, R.; AND GEMA, J. N. 1990. VA mycirhizae in strand vegetation of Hawai: evidence for long- distance codisperal of plants and fungi, *American Journal of Soil*: 77, 466-474.

LESCZYNSKI, D. B.; TANNER, C. B. 1976. Seasonal variation of root distribution of irrigated, field-grown Russet Burbank potato. *Amer. Potato J*. 53: 69-78.

MC. GONIGLE, T.P., A.H. FITTER, 1990. Ecological specifity of vesicular Arbuscular mycorrhizal associations. Mycological Research 94: 12–122.

MARTÍNEZ, M.I.; GÓMEZ, M.; ORTIZ, R.; CARREÓN- ABUD. 2009. Efecto del cobre en el crecimiento y arquitectura de la raíz de *Arabidopsis thaliana* L. Biologicas.11:122-131 p.

MIRANDA, G.; A. LEDEZMA. 2007. Respuesta Tiwanaku-Aymara ante los cambios climáticos en la Isla del Sol. Universidad Mayor de San Andrés. Carrera de Biología. Instituto de Ecología

MONTESINOS, L. E. 1991. Temas de regionalismo: Regionalización del departamento de La Paz. 33 p.

MUÑOZ R. J. 1977. Geografía de Bolivia. 2da. Ed. Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, Artes Gráficas Don Bosco, Editorial Educacional del Ministerio de Educación y Cultura, La Paz. 515 p.

NIETO, C.; VIMOS, C.; MONTEROS, C.; CAICEDO, C.; RIVERA R. 1992. INIAP-INGAPIRCA e INIAP-TUNKAHUAN. Dos variedades de quinua de bajo contenido de saponina. Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo. 32 p.

O'KEEFE, D.M.; SYLVIA, D.M. 1991. Mechanisms of the vesicular-arbuscular mycorrhizal plant growth response. *In*: Handbook of applied mycology: Soil and plants. Ed. D. K. Aroroa; B. Rai; K.G. Mukerji; G. R. Knudsen. New York, US. MARCEL DEKKER. INC. 35-53 p.

ORDÓÑEZ, J. 2001. Elaboración del bokashi. Material de Módulo de Agricultura Orgánica. Zamorano, Honduras. 3 p.

PARDAVE, C. 2004. Cultivo y comercialización del cultivo de papa. Perú. Palomino.

PARNISKE, M. 2004. Molecular genetics of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Curr Opinion Plant Biol*. 7:414- 421.

PARNISKE, M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nat Rev Microbiol*. 6: 763-775.

PEÑAFIEL, R. W. 2009. Estadística Aplicada. 124p.

PDM (Plan de Desarrollo Municipal). 2012. Plan de Desarrollo Municipal. 2012 - 2016. Gobierno Municipal de Patacamaya. Consultora Multidisciplinaria y Asistencia Técnica COMAT S.R.L. La Paz – Bolivia.

PHILLIPS, J.; HAYMAN, D. 1970. Improved procedures for clearing roots and stain¡ng parasitic and vesicular-arbuscular mycororrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Br¡t. Mycol. Soc*. 55: 158-161 p.

PILCO, M., F. 2015. Estudio De Las Micorrizas Asociadas A *Miconia Bracteolata* Bonpl. En El Bosque De Ceja Andina Sector Guangra, Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia De Chimborazo, 91 p.

POLOMSKI, J. y KUHN, N. 2002. Research Techniques for Root Studies. *En*: WAISEL, Y., ARAM, A. y KAFKAFI, U. eds. "Plant roots: the hidden half". 3ª Edición. New York, USA, 2002. 295-321 p.

PROINPA (Programa de Investigación de la papa). 1998. Informe compendio del Programa de investigación de la papa, PROINPA, COTESU, Cochabamba-Bolivia; 15 p.

RILLING, M.G.A.; VAN DER HEIJDEN, I.; SANDERS, J.; SPRINGER-VERLAG, HEIDELBERG. 2002. (Eds.). *Mycorrizal Ecology* 135-160 p.

ROJAS, G., J. 2010. Hongos Micorrizicos Arbusculares En La Rizósfera De Genotipos Promisorios De Cacao (*Theobroma cacao L.)* Bajo Los Sistemas Tradicional Y Bajo Bosque En La Región San Martín. 101p.

ROMAN. M.; HURTADO, G. 2002. Guía Técnica Cultivo de la Papa. 7 p.

ROUMET C, C URCELAY, S. DÍAZ 2006. Suites of root traits differ between annual and perennial species growing in the field. *New Phytologist* 170: 357-368.

RUIZ, P. O. Y ROJAS, K. 2011. Hongos de Micorriza Arbúscular. Protocolos y Procedimientos de Evaluación. Manual Técnico. Proyecto MICOSAF. Agroselva Perú S.R.L., CODESU, ACATPA, PROSEMA. Financiado por el Consejo de Ciencia y Tecnología – FINCyT (Contrato 172-09).

RUSSELL, W. **1992.** Crecimiento y Funcionamiento de las raíces. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. *Ed Mundi*, Prensa Madrid: 1045 p.

SANCHEZ, C.; CABALLERO, D.; RIVERA, R. y CUPULL, R. 2006. Respuesta de cepas de hongos micorrizógenos HMA sobre el desarrollo de posturas de cafeto parte Suelo pardo *gleyzoso*. Centro Agrícola. vol.33, Nº.1: 33-38 p.

SENAHMI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2015. Datos climáticos: temperatura y precipitación pluvial. Estación meteorológica de Patacamaya, La Paz.

SIEVERDING, E. 1989. Aspectos de la taxonomía y la identificación de hongos formadores de endomicorrizas V.A. In; Investigaciones sobre endomicorrizas en Colombia. *2 ed.* Palmira, CIAT. P 209-223.

SIEVERDING, E. 1991. Vesicular – arbúscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical cooperation. Federal Republic of Germany. Eschborn, Friedland: Bremer Russdorf: T2-Vert.-Ges. Germany; 371 p.

SIVILA, DE CARY, R., **y HERVE, D. 1999.** Memorias del primer congreso del suelo. Instituto de biología, La Paz- Bolivia.

SMITH, S.; READ, D. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, Elseiver Edition. Third Edition.10-90.

SYLVIA, D.M. y S.E WILLIAMS. 1992. Vesicular arbuscular mycorrhizae and environmental stress. Pp.101.124. In: Bethlenfalvay GJ and RG Linderman (Eds.). Mycorrhizae in sustainable agriculture. ASA-Special Publication No. 54.

VAN DER HEIJDEN MG. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi as a determinant of plant diversity: in search of underlying mechanisms and general principles. In: van der Heijden MGA, Sanders IR (*Ed*.). Mycorrhizal Ecology. Heibelberg : Springer Verlag. . 243–265 p.

VARELA, Y.; GONZÁLEZ, M.C. 2007. Taxonomía de hongos formadores de micorriza arbuscular. Colegio de Posgrado en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México: 1-19 p.

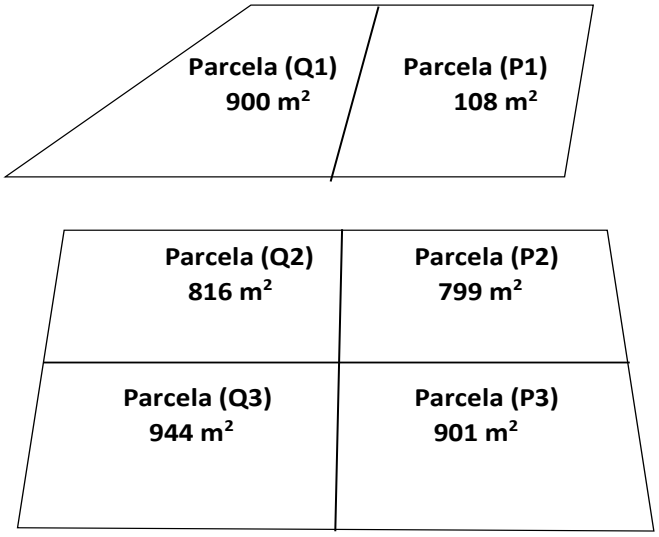
VEGA, V.M. 2011. Identificación De Micorrizas Vesículo-Arbúscular En Especies Agrícolas Y Forestales En La Zona De Tingo María. 42-45 p.

VILLAFUERTE, O. 2008. Requerimientos edafoclimáticos de la papa. En línea. Consultado 18 de Mayo del 2012. Disponible en http://www.agroancash.gob.pe/public/articulos/aip2008/temas/req_edafoclimaticos.htm.

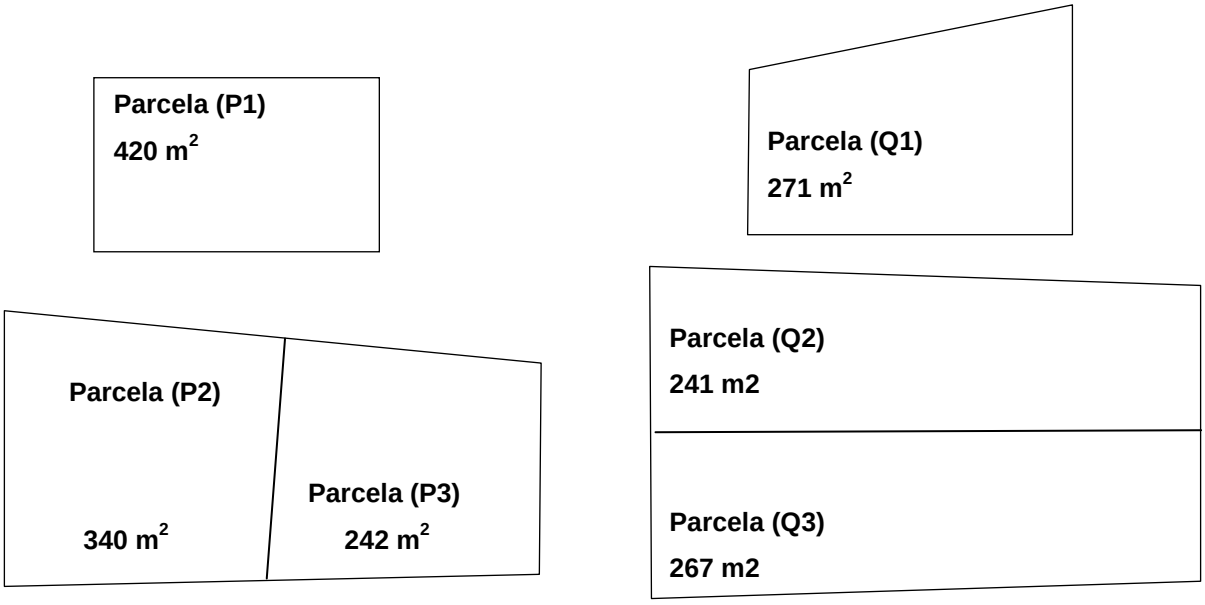
ZAK J.C, R SINSABAUGH Y W.P MACKAY. 1995. Windows of opportunity in desert ecosystems: their implications to fungal development. Canadian Journal of Botany 73 (supplement 1):1407-1414.

ANEXOS

Anexo 1. Parcelas del cultivo de papa y quinua en la comunidad de Alto Patacamaya.



Anexo 2. Parcelas del cultivo de papa y quinua en la comunidad de Collpa Huancarani.



Anexo 3. Análisis de suelo del Municipio de Patacamaya.

Laboratorio del Centro de Investigacion Agricola Tropical, Santa Cruz

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

Remitente:

Direccion: Instituto de Ecologia

Proyecto: Tesis

Latitud:

Longitud:

Identificacion

Fecha de Muestreo:

Años despues desmonte:

Cultivo anterior:

Cultivo actual:

Otra informacion:

Fecha de ingreso:

Nº LAB	UBICACIÓN Profundidad (cm)	pH 1:5 agua	C.E. 1:5 uS cm -1	Carb. Libres	Cat.SOL.1.1:5 S/Agua cmol Kg-1 Ca	Mg	Na	K	Bases Inte. Ca	Mg	Na	K	TBI	C.I.C.E. %	cmol Kg, -1	cmol Kg.-1 mg. Kg. -1	M.O. %	N Total %	A %	L%	Y %
5883	Patacamaya	6,3	34	P					1.7	.0	.16		3,5	3,7	95	13	0,8	0,06	57	29	14FA
5884	PQ A3	6,3	47	A					2.0	2.0	.55	1.	5,7	5,9	97	3	1,2	0,09	40	42	18F
5885	MC T4	6,4	31	P					1.7	.0	.13		3,6	3,8	95	14	0,7	0,06	66	20	14FA
5886	JUT 1 - MF T1	6,1	20	A					1.3	.0	.13		2,3	2,5	92	12	0,5	0,05	72	13	15FA
5887	ECT 3 . MF T2	5,9	44	A					1.6	.9	.20		3,6	3,8	95	17	0.8	0,07	63	21	16FA
5888	HQ A2	6,7	47	A					2.4	1.5	.35	1.	5,5	5,6	98	7	1	0,09	39	45	16FA
5889	MF A1	6,3	43	A					2.4	1.5	.16		5	5,2	96	12	1,4	0,1	43	41	16F

Prof. : Profundidad
C.E :Conductividad electrica
Carb. :Carbonatos
Cat.So:Cationes Solubles
Bases : Bases Intercambiables

T.B.I. :Total de Bass Interca
C.I.C.E. :Capacidad de Intercambio Cationico Efectiva
Sat. De ba:Saturacion de Bases
M.O. :Materia Organica
N. Total : Nitrogeno Total

A : Ausente
P : Presente
PP: Present en gran cantida

A : Arenoso
AF :Areno Francoso
FA :Franco Arenoso
FYA :Franco Arcillo Arenosos
YA :Arcillo Arenoso

L :Limoso
FL :Franco Limoso
FYL :Franco Arcillo Limoso
YL Arcillo Limoso

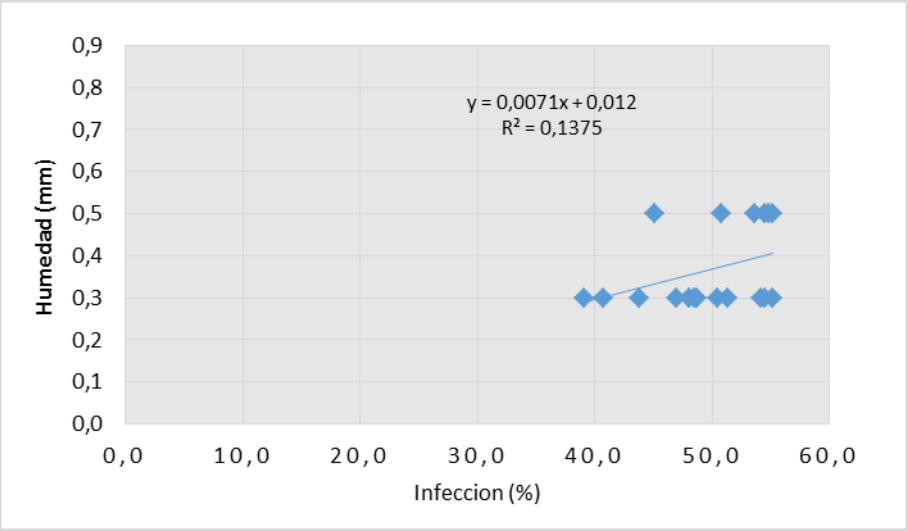
F :Franco
FY :Franco Arcilloso
Y :Arcilloso

Anexo 4. Datos generales de las comunidades Alto Patacamaya y Collpa Huancarani del cultivo de papa.

Parcelas	Infeccion (%) AP	Infeccion (%) CH	Densidad Raiz (kg/m^3) AP	Densidad Raiz (kg/m3)CH	Humeda (mm) AP	Temperatura (ºc) AP	Humeda (mm) CH	Temperatura (ºc) CH
P1	55,1	51,3	11,8	4,8	0,5	14,5	0,7	13,7
	54,5	45,3	8,6	6,0	0,5	14,5	0,7	13,7
	54,8	54,0	7,7	11,2	0,5	14,9	0,7	13,7
	50,8	50,0	8,2	5,4	0,5	14,5	0,7	9,4
	53,6	47,4	8,8	3,6	0,5	14,5	0,7	9,0
	45,1	48,7	4,0	5,7	0,5	14,9	0,7	13,7
P2	48,0	54,1	6,0	1,8	0,3	14,9	0,5	12,9
	48,7	50,7	4,0	2,7	0,3	14,9	0,5	14,1
	39,1	50,5	3,3	2,5	0,3	15,2	0,5	14,1
	51,4	48,3	3,0	3,1	0,3	15,6	0,5	14,1
	54,5	51,1	2,7	4,8	0,3	15,6	0,5	14,5
	54,2	43,3	3,4	4,1	0,3	15,6	0,5	14,9
P3	48,5	45,2	1,9	1,9	0,3	16,0	0,5	15,2
	50,4	46,4	2,2	1,5	0,3	16,4	0,5	15,2
	55,2	50,5	4,7	7,6	0,3	16,8	0,5	15,6
	40,7	46,0	4,2	6,2	0,3	17,1	0,5	16,0
	47,0	51,4	3,4	2,5	0,3	17,1	0,5	16,0
	43,9	52,8	1,7	3,0	0,3	17,5	0,5	16,4

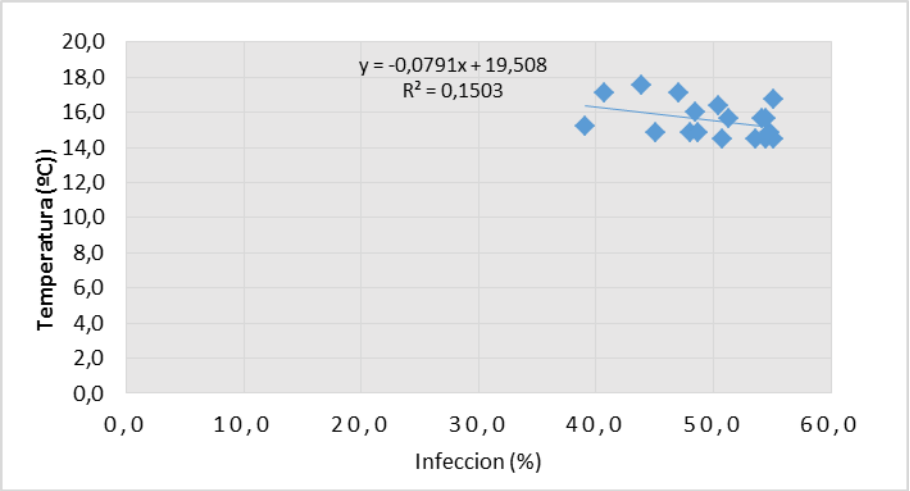
Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 5. Relación de humedad con la Infección de hongos MVA en Alto Patacamaya.



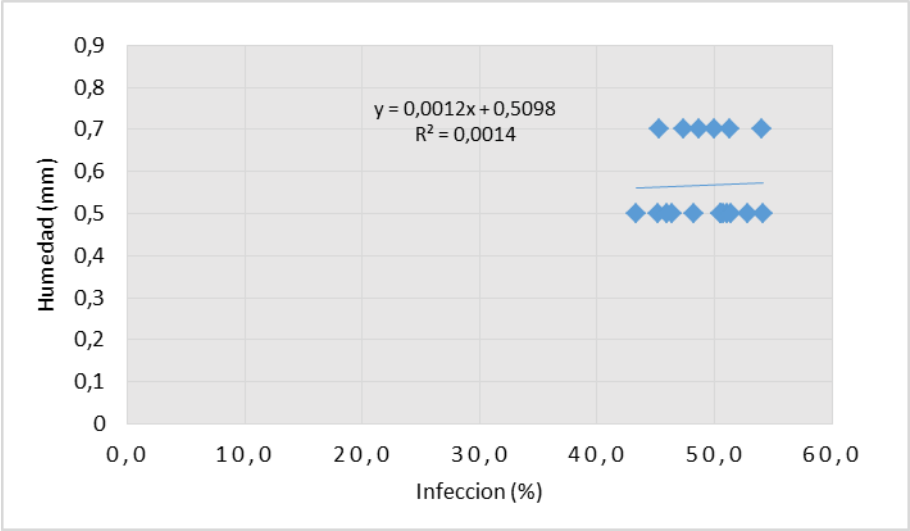
Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 6. Relación de temperatura con la Infección de hongos MVA en Alto Patacamaya



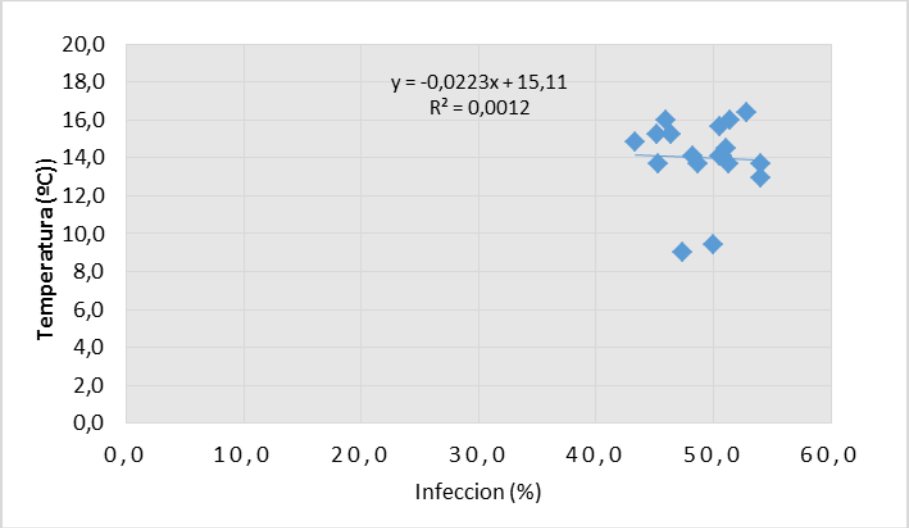
Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 7. Relación de humedad con la Infección de hongos MVA en Collpa Huancarani.



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

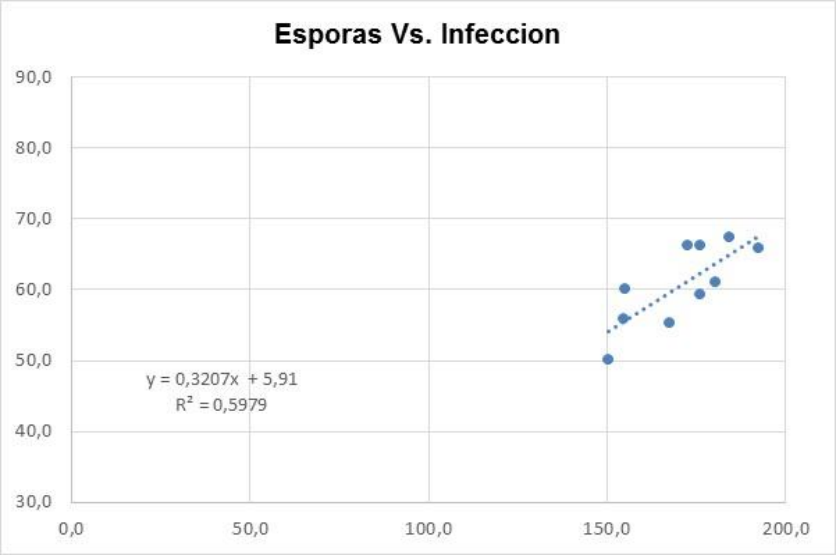
Anexo 8. Relación de temperatura con la Infección de hongos MVA en Collpa Huancarani.



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 8. Numero de esporas con relación al porcentaje de infección en la comunidad de Alto Patacamaya en el cultivo de papa**.**

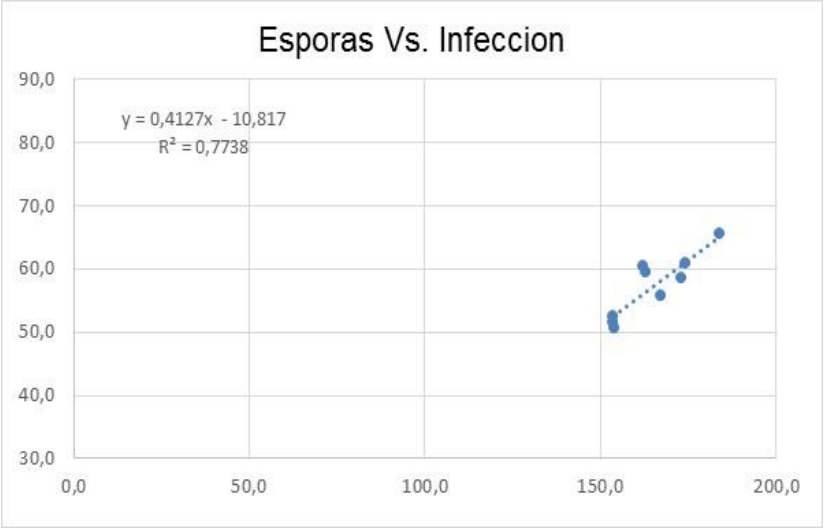
Esporas APpapa	Infeccion Appapa
150,3	50,1
154,7	56,0
155,2	60,0
167,6	55,3
172,8	66,2
176,1	59,4
176,1	66,3
180,5	61,0
184,3	67,4
192,5	65,8



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 9. Numero de esporas con relación al porcentaje de infección en la comunidad de Collpa Huancarani en el cultivo de papa.

Esporas CHpapa	Infeccion CHpapa
153,4	51,7
153,6	52,5
153,9	50,5
162,1	60,5
163,1	59,6
167,3	55,7
173,2	58,6
174,3	60,9
183,8	65,5



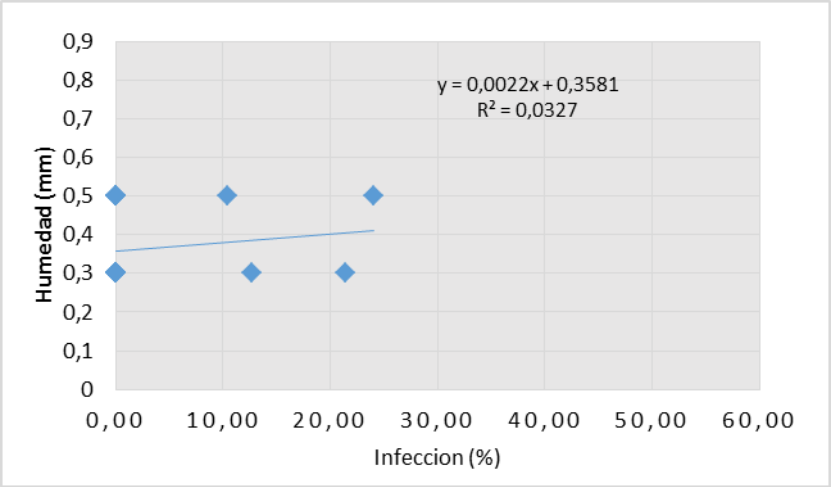
Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 10. Datos generales de las comunidades Alto Patacamaya y Collpa Huancarani del cultivo de quinua.

Parcelas	Infeccion (%) AP	Densidad Raiz (kg/m^3) AP	Humeda (mm) AP	Temperatura (ºc) AP	Infeccion (%) CH	Densidad Raiz (kg/m3)CH	Humeda (mm) CH	Temperatura (ºc) CH
Q1	0,00	1,0	0,5	14,85	19,46	1,0	0,5	13,32
	0,00	1,0	0,5	14,85	0,00	1,5	0,5	13,32
	10,47	0,9	0,5	14,85	0,00	1,0	0,5	13,32
	24,12	0,6	0,5	14,85	12,66	0,6	0,5	13,32
	0,00	0,5	0,5	14,85	0,00	0,6	0,5	13,32
	0,00	0,9	0,5	14,85	0,00	0,9	0,5	13,32
Q2	0,00	2,1	0,3	14,85	0,00	1,3	0,3	13,32
	0,00	0,5	0,3	14,85	9,81	1,8	0,3	13,7
	0,00	0,6	0,3	14,85	17,66	0,5	0,3	13,7
	0,00	0,7	0,3	15,23	12,39	0,8	0,3	14,09
	0,00	0,3	0,3	15,23	6,02	1,0	0,3	14,09
	0,00	0,5	0,3	15,23	22,71	1,5	0,3	14,09
Q3	21,39	2,1	0,3	15,23	18,72	1,1	0,3	14,47
	0,00	0,5	0,3	15,62	0,00	1,7	0,3	14,47
	0,00	0,6	0,3	15,62	0,00	0,7	0,3	14,47
	12,66	1,1	0,3	15,62	0,00	2,0	0,3	14,47
	0,00	0,3	0,3	16	0,00	0,8	0,3	14,85
	0,00	0,8	0,3	16	0,00	0,6	0,3	14,85

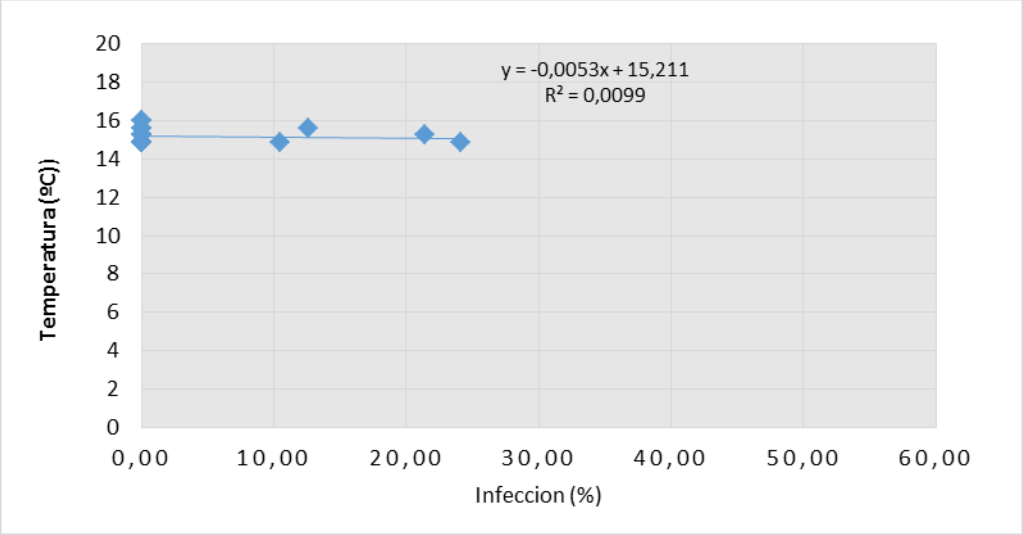
Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 11. Relación de humedad con la Infección de hongos MVA en Alto Patacamaya.



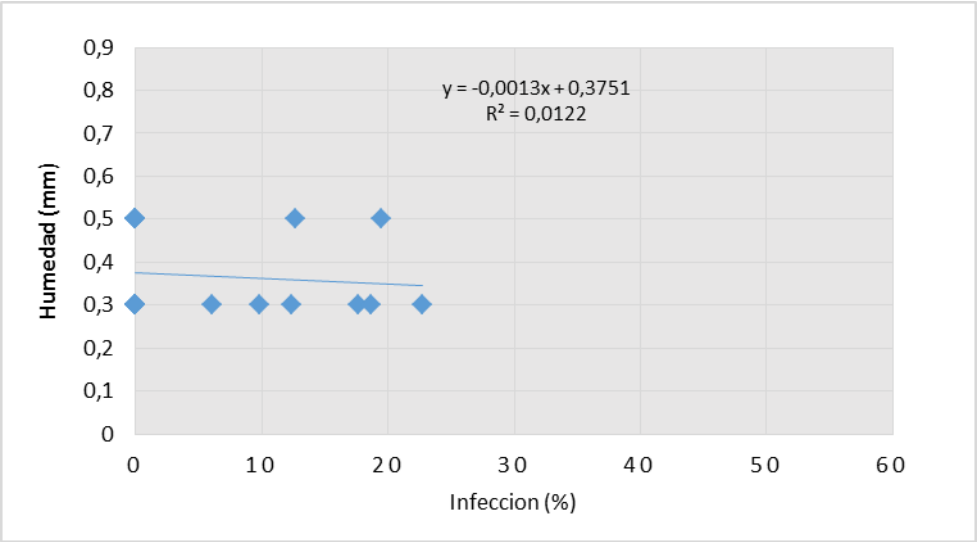
Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 12. Relación de temperatura con la Infección de hongos MVA en Alto Patacamaya



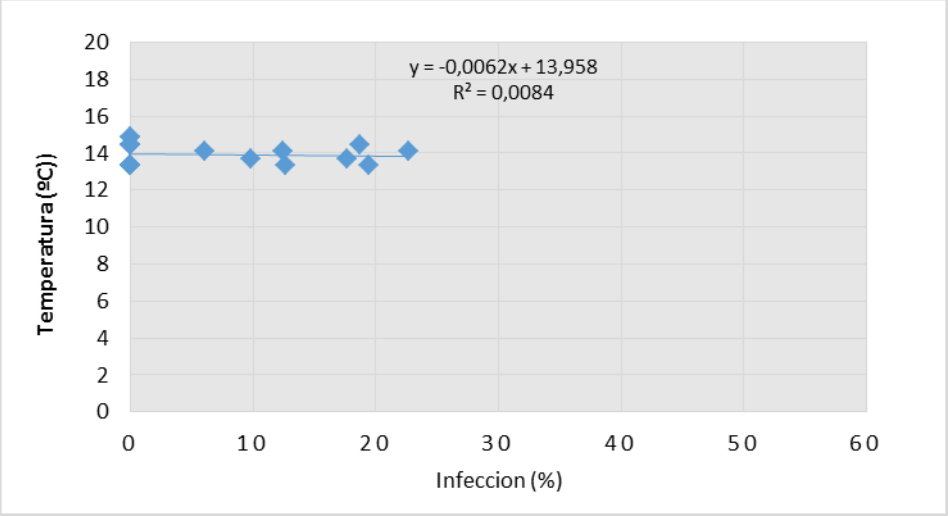
Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de campo y laboratorio (2015).

Anexo 13. Relación de humedad con la Infección de hongos MVA en Collpa Huancarani



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

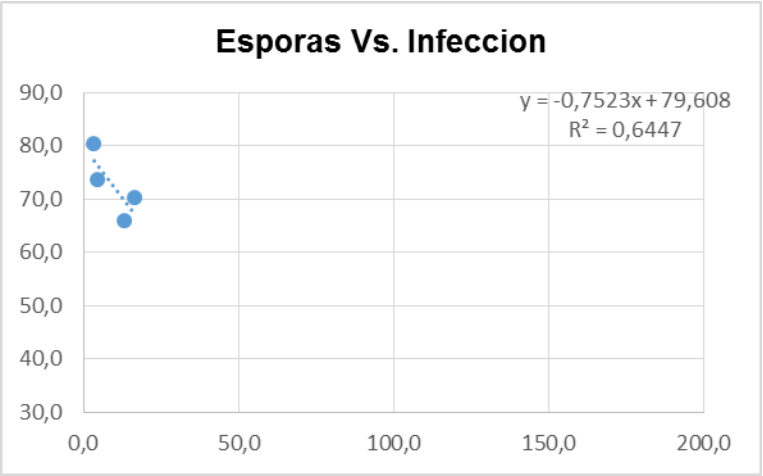
Anexo 14. Temperatura con relación a la Infección de hongos MVA, Collpa Huancarani.



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 15. Numero de esporas con relación al porcentaje de infección en la comunidad de Alto Patacamaya en el cultivo de quinua.

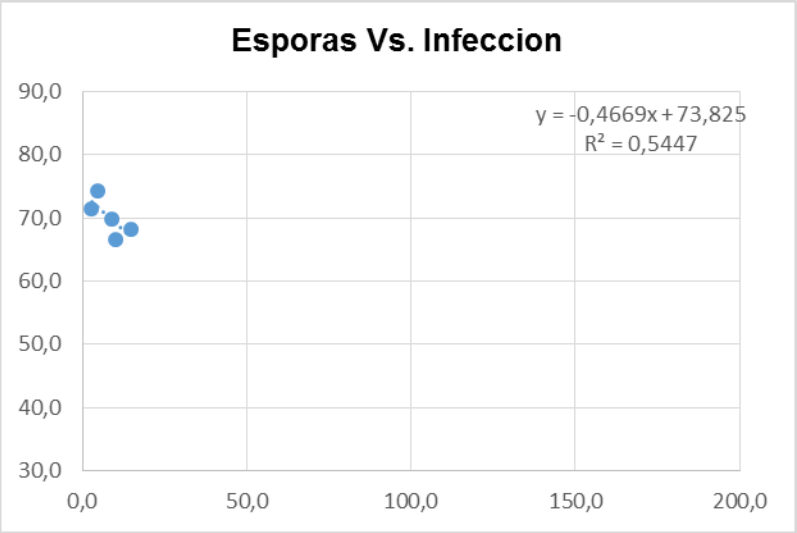
Esporas APquinua	Infeccion APquinua
3,3	80,3
16,7	70,1
13,3	65,9
4,8	73,5



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

Anexo 16. Numero de esporas con relación al porcentaje de infección en la comunidad de Collpa Huancarani en el cultivo de quinua.

Esporas Chquinua	Infeccion Chquinua
4,8	74,2
2,9	71,3
9,2	69,7
14,9	68,0
10,3	66,4



Fuente: Base de campo y laboratorio (2015).

FOTOGRAFIAS DE LAS PARCELAS

Cultivo de papa y quinua comunidad de Alto Patacamaya y Collpa Huancarani

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Cortado de las raíces del cultivo de papa y quinua

PROCESO DE LABORATORIO

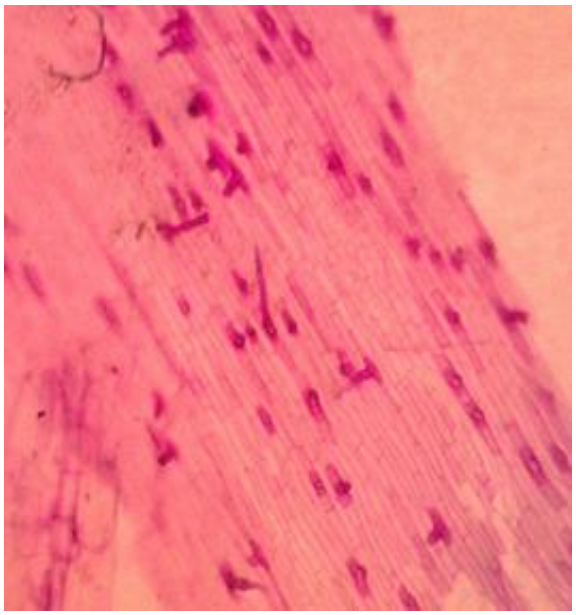
Lavado de raíces

Raíces de quinua en KOH al 10%

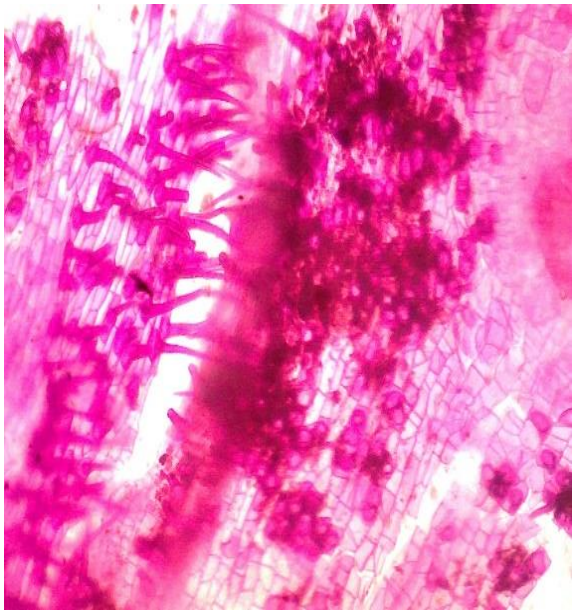
Preparación de las soluciones

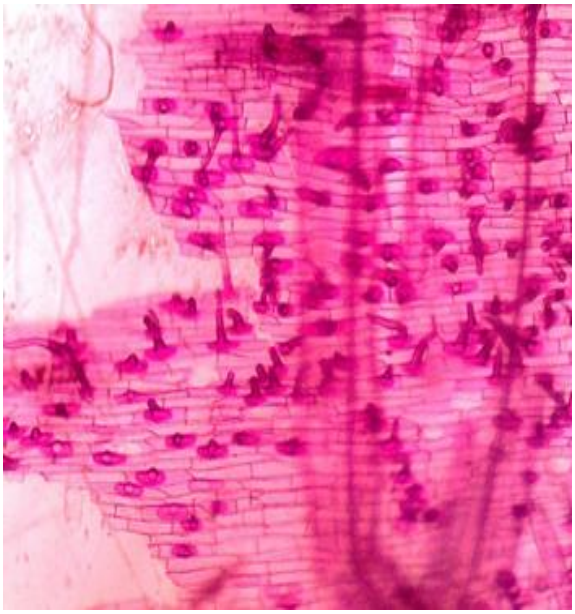
Observación de las muestras

MUESTRAS VISTAS EN ESTEROESCOPIO

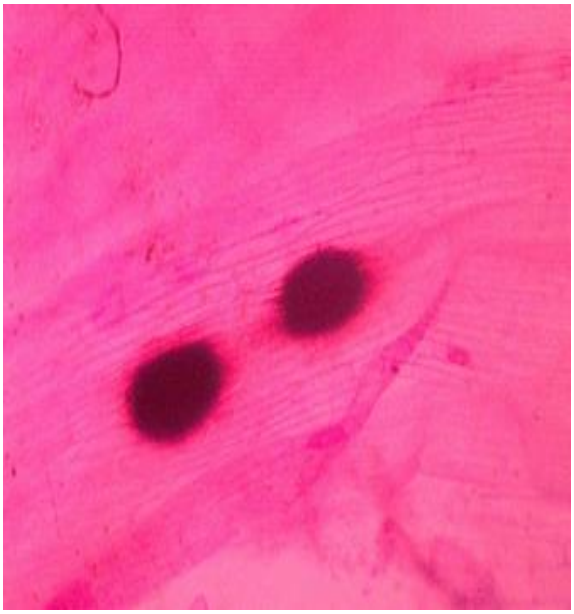


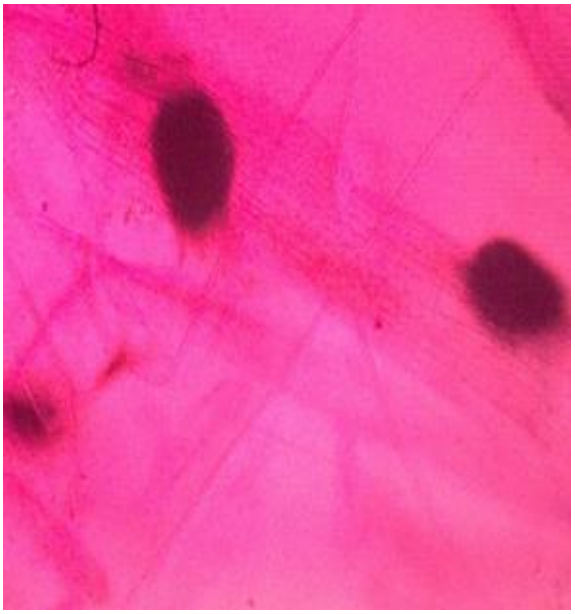
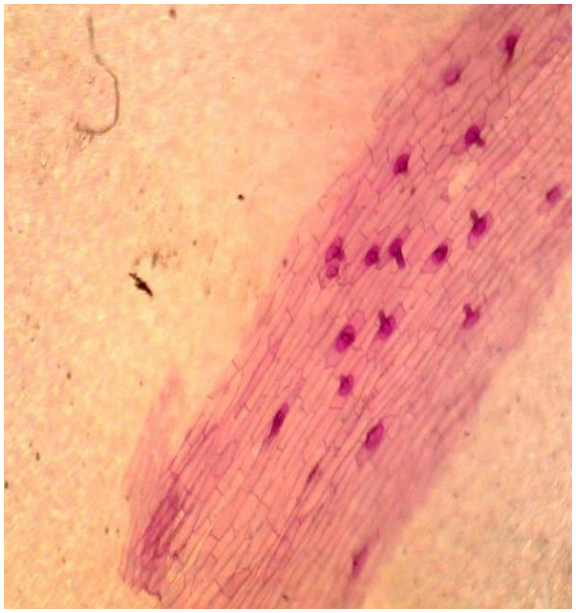
Colonización de los hongos MVA en el cultivo de papa





Crecimiento de las hifas de los hongos MVA en el cultivo de papa.





Vesículas de los hongos MVA en el las muestras de raíces de papa