



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DEL HONGO MICORRÍZICOS VESÍCULO
ARBUSCULAR (*Glomus Intraradices*), EN EL CULTIVO DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* W.) PUNO**

PRESENTADA POR:

JUAN CARLOS LUNA QUECAÑO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Juan Matehus, Carlos Junior, Deyssi Stefani, y en especial a Ana María, a quienes llevo en mi corazón por la paciencia durante los años de estudio en la Universidad.

A mi madre Paola Flora Quecaño, quien se siente orgullosa que su hijo Juan Carlos Luna, haya culminado esta travesía con obstáculos y dificultades que se pueda tener en el trayecto de la vida; sin dejar de lado mis hermanos y muy en particular a mi señor padre Don Elías Luna Vilca, y mi hermano menor René quien desde el cielo derraman su bendición.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano Puno, a mis docentes del Doctorado, en especial a los señores miembros del jurado, siendo Presidente Dr. Eliseo Pelagio Fernandez Ruelas; Primer miembro Dr. Rogelio Olegario Florez Franco; Segundo miembro Dr. Evaristo Mamani Mamani y asesor de investigación Dr. Javier Mamani Paredes, por impulsar nuevos conocimientos que benefician mi formación profesional; agradecer también a mis compañeros de clases con quienes obtuvimos todo tipo de experiencias buenas y malas y estas vivencias quedan para siempre en el recuerdo.

Reconocer también de manera especial al Dr. Juan Zapana Pari, y a cada una de las personas, quienes hicieron posible que el presente trabajo sea una realidad, brindando su apoyo y comprensión incondicional en su debido momento. Tengo en mente a muchas personas a quienes agradecer, por su comprensión, tolerancia, afecto, cariño hacia este su humilde servidor Juan Carlos Luna.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	4
1.1.1. Importancia de los cultivos andinos	4
1.1.2. Seguridad alimentaria.	5
1.1.3. Proyección de Consumo de alimentos	5
1.1.4. Explosión demográfica en el mundo	5
1.1.5. Sobre explotación de ecosistemas	6
1.1.6. Pesticidas químicos en la agricultura	7
1.1.7. Contaminación de aguas por insecticidas agrícolas	7
1.1.8. Hongos micorrizicos	7
1.1.9. Ventajas de las Micorrizas	8
1.1.10. Beneficios de los hongos micorrícicos arbusculares en la agricultura	8
1.1.11. Microorganismos en la disponibilidad de K + en suelos agrícolas	9
1.1.12. Microorganismos fijadores de N ₂	9
1.1.13. Quinua	10
1.1.14. Requerimientos del cultivo	10
1.1.15. Deficiencias de nutrientes en quinua	11
1.1.16. Preparación del suelo	12
1.1.17. Siembra de la quinua	13
1.1.18. Fenológica del cultivo de quinua	13
1.1.19. Propiedades nutricionales de la quinua	15
1.1.20. Presentación de la quinua	15
1.2. Antecedentes	16



CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	22
2.2. Enunciados del problema	23
2.2.1. Problemas general	23
2.2.2. Problemas específicos	23
2.3. Justificación	24
2.4. Objetivos	26
2.4.1. Objetivo general	26
2.4.2. Objetivos específicos	26
2.5. Hipótesis	26
2.5.1. Hipótesis general	26
2.5.2. Hipótesis específicas	26

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	28
3.2. Población	28
3.3. Muestra	28
3.4. Método de investigación	29
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de la aplicación de los HMVA en el cultivo de la quinua	32
4.2 Rendimiento del cultivo de quinua	47
4.3 Dosis óptima de HMVA, en el cultivo de quinua	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	68

Puno, 09 de julio de 2021

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería

LÍNEA: Manejo Agronómico de cultivos.

TEMA: EFECTOS DE LA APLICACIÓN DEL HONGO MICORRÍZICOS VESÍCULO ARBUSCULAR (*Glomus Intraradices*), EN EL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* W.) PUNO.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Análisis de varianza para la fase de emergencia de la planta de quinua	33
2. Resumen prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona por variedad por dosis de hongo, para la emergencia de la planta de quinua.	34
3. Análisis de varianza del cultivo de quinua en la fase altura de planta.	36
4. Interacción de zona, variedad y dosis de hongo, en la fase altura de planta.	37
5. Análisis de varianza del diámetro de tallo del cultivo de quinua.	39
6. Resumen prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para diámetro de tallo	40
7. Análisis de varianza para inicio de floración del cultivo de quinua	42
8. Resumen de la Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona por variedad y dosis de hongo, para el inicio de floración de la quinua	43
9. Análisis de varianza para la maduración de la planta de la quinua	45
10. Resumen de la prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona por variedad y dosis de hongo, para la maduración de la quinua	46
11. Análisis de varianza para el rendimiento de grano por panoja	48
12. Resumen de la prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona por variedad y dosis de hongo, para el rendimiento de grano por panoja	49
13. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de quinua por hectárea	51
14. Resumen de la prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona por variedad y dosis de hongo, para el rendimiento de grano por hectárea	52
15. Porcentaje de incremento en el rendimiento del cultivo de quinua frente al cultivo testigo	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Interacción de las variedades de quinua por zonas y por dosis de hongo de la fase emergencia de la planta de quinua; Ilave, campaña agrícola 2019 -2020	35
2. Interacción de las variedades de quinua por zonas y por dosis de hongo sobre la altura de la planta de quinua; Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	38
3. Interacción de las variedades de quinua por zonas y por dosis de hongo sobre el diámetro de tallo de la planta de quinua; Ilave, campaña agrícola 2019 -2020	41
4. Interacción de las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo en la fase inicio de floración de la quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	44
5. Interacción de las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo en la fase madurez de la quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	47
6. Interacción de las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo en el rendimiento de grano por panoja de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	50
7. Interacción de las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo sobre el rendimiento de grano por hectárea de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	52
8. Porcentaje de incremento en el rendimiento frente al cultivo de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	54
9. Resultado de análisis de suelos emitida por el laboratorio de Aguas y Suelos de la UNA PUNO, campaña agrícola 2019 -2020.	69
10. Apertura de calicata para la lectura de horizontes del suelo. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	77
11. Lectura de Color de los suelos según tablero Munsell. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	77
12. Lectura de calicatas. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	78
13. Lectura de color de suelo según tablero Munsell. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	78



14. Preparación de terrenos en la zona Media Sector Laccollo Sejjollo. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	79
15. Zona Alta del distrito de Ilvae, listo para la siembra. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	79
16. Terreno preparado para la siembra en la zona media del distrito de Ilave. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	80
17. Siembra de semillas de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	80
18. Emergencia de las plántulas de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	81
19. Cultivos de quinua (<i>Chenopidium Quinoa W.</i>) listos para el desahijé. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	81
20. Evaluación en la fase de crecimiento del cultivo de la quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	82
21. Evaluación del cultivo de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	82
22. Evaluación del cultivo de quinua en la formación de granos. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	83
23. Cultivos de quinua en la fase de maduración.. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020. .	83
24. Raíces colonizadas por hongos micorrízicos. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020. .	84
25. Limpieza de los granos de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	84
26. Venteo de la quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	85
27. Quinua venteada variedad Kamcolla. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	85
28. Quinua perlada variedad Blanca de Juli. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	86
29. Quina Perlada variedad Pasankalla Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.	86



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Resultado de analisis de suelos	69
2. Resultado de la comparación múltiple de acuerdo con el criterio de Tukey	70
3. Galería de fotografías	77

RESUMEN

La investigación se realizó en tres zonas de estudio, zona lago, media y alta en el distrito de Ilave, provincia de El Collao, departamento de Puno. Los objetivos fueron, estimar el rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* W.), con la aplicación de hongos micorrízicos vesículo arbusculares HMVA; y determinar la dosis óptima de HMVA, para incrementar el rendimiento de tres variedades de quinua. La metodología es experimenta y secuencial, consistió en inocular la superficie de la semilla de quinua con HMVA MicorrizaFer® con adherente, secada a luz indirecta y sembrada. Las dosis a prueba fueron de 300; 200; 100 y 0,00 g de Micorrizafer/Kg de semilla de quinua. Las variedades fueron, Kcancolla, Blanca de Juli y Pasankalla. Para el análisis estadístico se utilizó el diseño de bloque completo al azar y para calcular el valor crítico, la comparación múltiple de acuerdo al criterio de Tukey. Los resultados indican que el mejor rendimiento de las tres variedades de quinua lo presentó la variedad Blanca de Juli, en la zona Lago, con 1,670 kg de quinua /ha, con la dosis 300 g de HMVA/kg de semilla; Sin embargo, el mayor rendimiento de la variedad Pasankalla es de 1,523 kg de quinua/ha, zona lago, dosis 200 g; asimismo, el mayor rendimiento de la variedad Kcancolla es de 1,478 kg/ha, zona lago, dosis 200 g. La dosis óptima para el mejor rendimiento del cultivo de quinua en las tres variedades (Blanca de Juli, Kcancolla y Pasankalla), es de 300 g de hongo micorrízicos vesículo arbusculares por kilogramo de semilla de quinua.

Palabras clave: Cultivo de Quinua, hongo micorrízicos, rendimiento, simbiosis.

ABSTRACT

The research was carried out in three study areas, lake area, medium and high in the district of Ilave, province of El Collao, department of Puno. The objectives were to estimate the yield of three varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.), with the application of mycorrhizal fungi arbuscular vesicle HMVA; and determine the optimal dose of HMVA, to increase the yield of three varieties of quinoa. The methodology is experimental and sequential, it consisted of inoculating the surface of the quinoa seed with HMVA MicorrizaFer® with adherent, dried in indirect light and sown. The doses tested were 300; 200; 100 and 0.00 g of Mycorrhizafer / Kg of quinoa seed. The varieties were, Kcancolla, Blanca de Juli and Pasankalla. For the statistical analysis, the randomized complete block design was used and to calculate the critical value, the multiple comparison according to the Tukey criterion. The results indicate that the best performance of the three varieties of quinoa was presented by the Blanca de Juli variety, in the Lago zone, with 1,670 kg of quinoa / ha, with the dose of 300 g of HMVA / kg of seed; However, the highest yield of the Pasankalla variety is 1,523 kg of quinoa / ha, lake area, dose 200 g; likewise, the highest yield of the Kcancolla variety is 1,478 kg / ha, lake area, dose 200 g. The optimal dose for the best performance of the quinoa crop in the three varieties (Blanca de Juli, Kcancolla and Pasankalla), is 300 g of arbuscular vesicle mycorrhizal fungus per kilogram of quinoa seed.

Keywords: Quinoa culture, mycorrhizal fungus, yield, symbiosis

INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos como producto micorrizafer, es un biofertilizante íntegramente biológico basado en la actividad de los hongos micorrízicos (Spagnoletti *et al.*, 2013), este hongo se asocia de forma natural con las raíces de las plantas mediante la formación de hifas, que permite a la planta mayor capacidad de exploración del suelo (Covacevich *et al.*, 2014). Esta asociación simbiótica lleva a cabo un intercambio nutricional; la Micorriza absorbe el agua y nutrientes minerales de difícil disponibilidad, como el Nitrógeno, Fósforo, Potasio y micronutrientes y son suministrados a la raíz de la planta; a cambio las plantas proporcionan azúcares producidos por la fotosíntesis (Garibay *et al.*, 2013).

La asociación de las raíces con los HMVA, mejora la nutrición de la planta y estimula su desarrollo lo que permite un aumento significativo en el aprovechamiento de nutrientes y agua por parte de la planta, mejorando su nutrición, vigor y resistencia a condiciones de estrés hídrico, heladas, salinidad del suelo, plagas, enfermedades, metales pesados y altas temperaturas (Zhang *et al.*, 2012). Asimismo, los hongos micorrízicos producen hormonas que estimulan su desarrollo y contrarrestan enfermedades producidas por agentes patógenos (hongos patógenos), reduciendo los efectos nocivos en la salud de la planta (Baeza *et al.*, 2017).

Por otro lado, la Universidad Nacional Autónoma de México, obtiene cepas seleccionadas altamente productivas, en condiciones de inocuidad, inofensivo para el ser humano y beneficioso para el medio ambiente (Baeza *et al.*, 2017). El biofertilizante es una bacteria fijadora de Nitrógeno *Azospirillum Brasilense* que actúan como fábricas biológicas naturales, que aportan fertilizantes nitrogenados de forma asimilable a la planta. Esta bacteria habita en la rizosfera donde establece la simbiosis con las raíces. Las bacterias toman el nitrógeno del aire y lo transforman en amonio, nitratos y nitritos, de fácil aprovechamiento por las plantas, por lo tanto, eleva sustancialmente la productividad, calidad, apariencia, regeneración de suelos y mejor rendimiento de los cultivos (Vargas *et al.*, 2018).

Por otro lado, la FAO cataloga al cultivo de la quinua como uno de los cultivos prometedores de la humanidad, por sus grandes propiedades benéficas descrita como

solución para la desnutrición humana y sus múltiples usos, como alimentación humana, animales, forraje y leña (Rojas *et al.*, 2011).

En la actualidad existe una creciente demanda del cultivo de quinua en el mercado internacional. La producción de quinua en el Perú se fundamenta en tres aspectos esenciales, en lo social genera bienestar, garantiza la seguridad alimentaria, contrarresta la migración rural, genera estabilidad familiar; económicamente la producción de quinua aporta rentabilidad al agricultor genera fuentes de empleo (Amiryousefi *et al.*, 2021); asimismo, ambientalmente favorece la conservación de recursos genéticos, atenúa la erosión del suelo y genera nuevas tecnologías saludables al medio ambiente.

Puno es la principal región productora del país con cerca de 40,000 toneladas de quinua de exportación que representa el 50% aproximado del total exportado (Laurente y Mamani, 2020). La demanda de quinua en el mercado mundial genera oportunidad de negocios, sin embargo, fomenta el monocultivo, sometiendo al recurso suelo a prácticas nada amigables como el uso excesivo de fertilizantes químicos en la producción agrícola, con consecuencias negativas, para el medio ambiente, desertificando los suelos cultivables con prácticas que atentan nuestra salud (Jiao *et al.*, 2012). Por otra parte, el uso de abonos orgánicos (hongos micorrízicos) es una alternativa para una agricultura saludable, preserva el medio ambiente, incrementa la fertilidad del suelo, previene enfermedades en las plantas, mejora el contenido nutricional de los alimentos, conserva la biodiversidad, y sobre todo respeta nuestro planeta (Hoysted *et al.*, 2018).

Asimismo, la existencia de microorganismos benéficos el recurso suelo, viven simbióticamente con la mayoría de plantas; aportan nutrientes de baja disponibilidad o de poca movilidad en el suelo, evitan la invasión de microorganismos patógenos en la raíz, incrementa la tolerancia de la planta a condiciones de estrés abiótico en el suelo entre otros (Zhang *et al.*, 2012). Este establecimiento simbiótico entre hongo y planta conlleva etapas de reconocimiento y adaptación a cambios morfológicos y fisiológicos en los organismos que interactúan. Los HMVA contribuye a mejorar el nivel nutricional de la planta, sin aplicar productos de origen químico en la obtención de nutrientes (Díaz *et al.*, 2010).



El trabajo de investigación sobre el efecto de la aplicación del hongo micorrízicos vesículo arbuscular (*Glomus intraradices*), en el cultivo de quinua Puno, se encuentra dividido en cuatro capítulos: Capítulo I. Fundamentos teóricos de la investigación, se expone las teorías centrales y referenciales sobre los efectos de los HMVA, y la importancia de los cultivos andinos, como es el cultivo de quinua. En el capítulo II. Se detalla el problema de la investigación y se justifica el presente trabajo, posteriormente se define los objetivos con la cual se direcciona la investigación. En el capítulo III. Se describe la metodología, método, diseño, tipo y nivel de investigación Finalmente, en el capítulo IV, dedicado a los resultados de la investigación con aplicación de instrumentos y análisis estadísticos de los diferentes cuadros descriptivos. La investigación culmina con las conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y anexos referidos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Importancia de los cultivos andinos

La quinua es un grano comestible, considerado un pseudocereal, debido a su apariencia semejante a un grano y pseudosemilla oleaginosa por su alto contenido nutricional”. Las civilizaciones de los Andes de América del Sur consideran sagrada la quinua, cultivada principalmente en el altiplano de Perú y Bolivia. por su alto valor nutritivo, los investigadores se refieren a ella como el grano de oro de los Andes (Nowak *et al.*, 2016). Por ser un cultivo estratégico en beneficio de la salud y nutrición, con alto valor nutritivo contiene fibra dietaria libre de gluten, fitoestrógenos, daidzeína y cenisteína que previenen la osteoporosis, asimismo, tiene características favorables para el desarrollo de productos agroindustriales.

La historia señala que la quinua, pudo haber sido domesticada entre los años 3000 y 5000 antes de Cristo. Es una planta originaria de los alrededores del Lago Titicaca Perú – Bolivia, cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas por ser un alimento básico para la población (Molina, 2015).

Este hecho sitúa a la quinua como un cultivo de importancia agronómica debido a múltiples beneficios; por ello la importancia de la investigación.

b. Seguridad alimentaria.

Cuando oímos hablar de “seguridad alimentaria” podemos pensar en la importancia de consumir alimentos que no sean dañinos para la salud. Sin embargo, no es del todo incorrecto, pero la definición va mucho más allá (Katsini *et al.*, 2021).

La seguridad alimentaria es tener comida disponible, alimentos suficientes para la humanidad, que sean inocuos y nutritivos, que sea estable y continua en el tiempo. la seguridad alimentaria se da cuando las personas tienen acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable (Yu *et al.*, 2021).

la malnutrición y el hambre y es un reto global, a principios del siglo XXI, muchos países lograron reducir significativamente la desnutrición o malnutrición. Sin embargo, las cifras del hambre llevan tres años subiendo y otras formas de malnutrición como la obesidad no dejan de crecer en todo el mundo.

c. Proyección de Consumo de alimentos

Se prevé que el consumo de alimentos en China aumente en un 33 por ciento para 2050. El aumento del consumo de alimentos se originará en hogares urbanos de ingresos medianos y altos, esta demanda será de carnes de res, productos lácteos, carne de oveja y cabra. Los alimentos agrícolas más consumidos serán el maíz, trigo, arroz, papas, yuca, soja, camote, sorgo, ñame, tomate, aguacate, plátano. En china la disminución de la tasa de crecimiento de la población dará como resultado un cambio estructural en el consumo preferencial de la alimentación. Una de las acciones en la seguridad alimentaria será las políticas de importaciones, que desempeñarán un papel importante en la reducción de la brecha de "calidad" alimenticia en una futura demanda de alimentos en china (Dai *et al.*, 2018).

d. Explosión demográfica en el mundo

En el mundo somos más de 7 mil millones de persona, quienes precisamos de alimento, agua, vestido y vivienda para vivir, el crecimiento demográfico ha llevado al planeta a rebasar su capacidad de producción (Sullivan, 2020).

los recursos naturales son consumidos más rápido de lo que se regenera en el planeta. y se contamina más rápido de lo que pueden ser descontaminados. El medio ambiente tarda 18 meses en recuperarse de lo que los seres humanos gastan y desechan en un año (Henschke et al., 2021).

Existen diferentes métodos para medir el impacto que tiene la presencia del ser humano y sus actividades sobre el planeta, así como la capacidad que éste tiene para cubrir las necesidades de los seres vivos que la habitan. De acuerdo con la organización GlobalFootprint Network la huella ecológica de cada ser humano está calculada en 2.6 hectáreas, pero el planeta sólo es capaz de dar 1.8 hectáreas a cada habitante. El incremento demográfico implica, aumento en el consumo de recursos naturales, mayor fuente de contaminación, sobreexplotación de ecosistemas, consumo de agua y contaminación atmosférica.

e. Sobreexplotación de ecosistemas

la cantidad de tierras fértiles destinadas a la agricultura, ganadería han generado una sobre explotación de suelos; la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), estimó que en el mundo se pierden 7.3 millones de hectáreas de bosques y selvas por año, por actividades de sobreexplotación (Neeman *et al.*, 2017).

Helena Cotler, Directora de Manejo integral de cuencas del Instituto Nacional de Ecología, afirma que en la actualidad el 45% de los suelos del país cuentan con algún grado de degradación y se ha perdido más suelo en los últimos 40 años que en los últimos cuatro siglos (Agnati *et al.*, 2018).

Las principales causas de estos procesos son las actividades agrícolas (38.8%), sobre pastoreo (38.4%), deforestación (16.5%), urbanización, 6.3%. Asimismo, se considera que cerca del 25% de las zonas marítimas y dulceacuílas como ríos, lagos están sobreexplotadas por la actividad pesquera (Perissi *et al.*, 2017).

f. Pesticidas químicos en la agricultura

Estudios de todo el mundo han demostrado que la utilización de pesticidas en el campo agrícola genera efectos negativos para la salud. Esta relación de exposición a plaguicidas de origen químico, desarrolla diversas enfermedades, que va desde efectos respiratorios, hasta identificar varios tipos de cáncer. La exposición a pesticidas está bien establecida, es más que obvio que la comunidad agrícola necesita la implementación de un nuevo concepto agrícola en relación con la producción de alimentos, que es más seguro para los agricultores, los trabajadores agrícolas y el medio ambiente (Dhananjayan y Ravichandran, 2018).

g. Contaminación de aguas por insecticidas agrícolas

Es de conocimiento que los pesticidas afectan las comunidades acuáticas, en consecuencia, diversas investigaciones indican que las poblaciones expuestas a pesticidas pueden reducir sus efectos de contaminantes solo, cuando se eviten su uso. *Gammarus pulex*, es una especie de macroinvertebrados, con mayor tolerancia a los pesticidas en el agua (Barman *et al.*, 2018). fueron expuestos a pesticidas en diferentes concentraciones por debajo de los efectos agudos, los resultados indican una tolerancia casi 3 veces mayor al insecticidas neonicotinoide clotianidina (EC50), en comparación a poblaciones no expuestas a (EC50). lo que indica que las poblaciones urbanas están más propensas a sufrir intoxicaciones y enfermedades que causa los pesticidas (Shahid *et al.*, 2018).

h. Hongos micorrizicos

El término micorriza descende de la unión de dos palabras Mico = hongo y Riza = raíz. Entonces micorriza es la asociación de varios géneros de hongo que establecen simbiosis en la rizosfera del suelo con las raíces de la mayoría de plantas vasculares, e incluso se han reportado en plantas no vasculares (Kay y Scharman, 2015).

El término «micorrizas» se denomina así a los hongos con capacidad de realizar simbiosis con las plantas, por otro lado, «micorrizar» se denomina al contacto los hongos micorrícicos con las raíces de las plantas y el término «micorrización»: es usada para indicar el establecimiento de la simbiosis entre hongos y raíces. Esta

denominación pueda no ser la correcta, sin embargo, en términos coloquiales permite diferenciar las diferentes acciones.

i. Ventajas de las Micorrizas

Promueven el crecimiento de las raíces; mejoran la resistencia de la planta; en caso de estrés hídrico las hifas de los hongos pueden obtener agua de las; Exploran mejor el suelo facilitando la toma de nutrientes. Por ejemplo, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, hierro, manganeso, cobre y zinc. Ventajas Sanitarias Disminuyen la incidencia de hongos patógenos de las raíces como *Alternaria solani* y *Phytophthora capsici*, además, de nemátodos como *Meloidogyne incognita*. Es de aclarar, que las micorrizas ayudan a controlar estos patógenos de forma indirecta, ya que ocupan los espacios que estos requieren para su normal desarrollo. Aumenta la supervivencia de las plantas cuando se establecen en ambiente extremos como la escasez de agua, la salinidad, la acidez del suelo, y la toxicidad de metales pesados. Favorece la formación de microagregados del suelo, por lo tanto, mejora su estructura. Es compatible con sistemas agroecológicos (Esmeralda *et al.*, 2012).

j. Beneficios de los hongos micorrícicos arbusculares en la agricultura

Las plantas han evolucionado en una estrecha relación entre hongo micorrizico y raíz, quizá esta evolución conjunta permitió que la biotrofia se obligue y condicione a los hongos la necesidad de encontrar y colonizar raíces hospederas para continuar su crecimiento y completar su ciclo de vida, que culmina con la formación de nuevos propágulos viable (Moreira *et al.*, 2020).

Los HMVA apoyan el crecimiento de la planta, modifican la morfología del sistema radical, mejora la absorción de agua, incrementa el suplemento de nutrimentos inmóviles en el suelo principalmente el fósforo, aumentan la tolerancia al estrés abiótico, resistencia a patógenos del suelo, mejora la estructura del suelo formando macro- y micro-agregados, también originan cambios en los exudados radicales que alteran la descomposición de microorganismos en la rizósfera del suelo. Los hongos son utilizados en la agricultura a manera de bioinoculantes, para obtener mejores rendimientos mediante la simbiosis entre hongo y la raíz de la planta, para obtener una buena producción es indispensable hacer una selección de la especie micorrízica a inocular que permitirá disminuir el uso de fertilizantes, una

relación costo-beneficio viable. Presenta beneficios para la agricultura a través de las prácticas ecológicas amigables (Pel *et al.*, 2018).

Es necesario tener un conocimiento profundo sobre la diversidad genética de HMVA y tener una mejor comprensión de la diversidad funcional a fin de proponer estrategias adecuadas para la utilización y gestión de este importante recurso biológico.

k. Microorganismos en la disponibilidad de K + en suelos agrícolas

Los microorganismos solubilizantes de potasio (KSM) son microorganismos rizosféricos que solubiliza el potasio insoluble (K) a las formas solubles de K para el crecimiento y rendimiento de la planta. Las bacterias saprófitas (*Bacillus mucilaginosus*, *Bacillus edaphicus*, *Bacillus circulans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Paenibacillus spp.*), son encargadas de realizar la transformación, en cantidades importantes de minerales que contienen K (moscovita, ortoclasa, biotita, feldespato, illita, mica) y se encuentran presentes en el suelo como una forma fija que no es absorbida directamente por la planta (Mancini *et al.*, 2018). Sin embargo, existen los KSM, microorganismos importantes para la solubilización del K, en el suelo, e interactúan entre el suelo y las raíces de la planta; el mecanismo principal de los KSM es acidólisis, quelación, reacciones de intercambio, complexólisis y producción de ácido orgánico. Por lo tanto, los KSM eficaces deberían aplicarse para la solubilización de una forma fija de K a una forma disponible de K en los suelos. Esta K disponible puede ser absorbida fácilmente por la planta para su crecimiento y desarrollo (Meena *et al.*, 2014).

l. Microorganismos fijadores de N₂

Diversas investigaciones en el ámbito de la agricultura, realizadas a microorganismos benéficos, con la capacidad de fijar de N₂, evitan el agotamiento de la materia orgánica del suelo y reducen la contaminación ambiental por el uso de fertilizantes químicos. Diferentes sistemas de bio-fertilizantes que incluyen a las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas y cianobacterias están en uso en una escala limitada particularmente en agroecosistemas de arroz Aslam *et al.* (2018), Zare *et al.* (2018); la tecnología es potencialmente efectiva para enriquecer el suelo y mejorar su fertilidad y mejorar el rendimiento del cultivo de

arroz. Sin embargo, la tecnología necesita una mejora adicional para su mejor explotación bajo programas de desarrollo de agricultura sostenible. Las cianobacterias y rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas son excelentes biofertilizantes que pueden proporcionar nuevos constituyentes genéticos y productos químicos bioactivos con uso multifactor en la agricultura y la sostenibilidad ambiental (Singh *et al.*, 2011).

m. Quinua

Quinua, pertenece a la familia Chenopodiaceae, nombre científico *Chenopodium quinoa* Willdenow, es una planta de desarrollo anual, hojas anchas, dicotiledónea, alcanza una altura de 1 a 2 m, hojas lobuladas y quebradizas, el tallo puede tener o no ramas dependiendo de la variedad y/o densidad del siembra, raíz principal de 20 a 25 cm de forma radiculada que penetran en la tierra, panículas o panojas generalmente en la cima de la planta y debajo del tallo, flores pequeñas que carecen de pétalos, generalmente bisexuales y se autofertilizan, fruto seco y mide 2 mm. de diámetro aproximadamente, semilla usualmente lisa y de colores blanco, rosado, naranja, rojo, marrón y negro, peso del embrión 60% del peso de la semilla, forma una especie de anillo alrededor del endospermo, que se desprende cuando la semilla es cocida (Singh *et al.*, 2011).

Su semilla provee aminoácidos esenciales, equiparando su calidad proteica a la leche. granos altamente nutritivos, superando en valor biológico, calidad nutricional y funcional a los cereales tradicionales, tales como el trigo, el maíz, el arroz y la avena.

n. Requerimientos del cultivo

Son diverso los requerimientos del cultivo de la quinua en diversos aspectos como:

Suelo: los suelos aptos para el cultivo de quinua son suelos de carácter neutro, sin embargo, se puede cultivar en suelos alcalinos con pH 9, y suelos ácidos con pH 4.5, considerados extremadamente ácido. Por otro lado, la quinua se desenvuelve preferentemente mejor en suelos francos y franco arenosos con buen drenaje con contenido de materia orgánica alta, con pendientes moderadas y un contenido medio de nutrientes.

Clima: la quinua puede desarrollarse en diferentes condiciones climáticas como frío y seco, templados, lluvioso, caluroso, soleado, seco, con humedad relativa baja; asimismo se puede cultivar a diferentes altitudes desde nivel del mar hasta los 4,000 metro de altitud. Para cada clima existen variedades o ecotipos adecuados.

Agua: a pesar de ser una planta C3, es eficiente en el uso de agua puesto que posee mecanismos fisiológicos que le permiten tolerar y resistir el estrés hídrico o falta de humedad del suelo.

Temperatura: la temperatura media optima puede variar desde los 12 a- 20 °C, sin embargo, soporta temperaturas extremas desde - 8°C a 38°C.

Radiación: soporta radiaciones extremas que le permite compensar las horas de calor necesarias para cumplir con el período vegetativo y productivo.

Fotoperiodo: Existen diferentes variedades o ecotipos de días cortos o largos que infieren en el fotoperiodo.

Altitud: crece desde el nivel del mar hasta cerca de los 4,000 metros.

o. Deficiencias de nutrientes en quinua

Deficiencia de nitrógeno. Las plantas presentan un crecimiento retardado, tallos cortos y delgados, hojas de color amarillo o café claro, en la parte inferior presenta hojas viejas y secas. asimismo, son pequeñas a diferencia de plantas en suelos con presencia de nitrógeno.

Deficiencia de fósforo Las plantas con deficiencia de fosforo muestran un crecimiento retardado con hojas de color y tallos ligeramente azulado o morado. Existe un pobre desarrollo de las raíces, por otro lado, tiene un deficiente llenado de los granos.

Deficiencia de potasio Las plantas con deficiencia de potasio presenta un crecimiento bajo, existe amarillamiento de los bordes y ápices de las hojas. Son susceptibles a la resistencia del estrés hídrico, heladas y sequias, por otro lado, presentan frutos menudos.

Deficiencia de magnesio Las plantas con deficiencia de magnesio presentan amarillamiento en espacios aledaños a las venas de las hojas, llamada también amarilla miento de franjas, asimismo, las hojas presentan bordes acartuchados, con tallos delgados.

Deficiencia de azufre Las plantas con deficiencia de azufre presenta trastornos en toda la planta Se puede observar un amarillamiento completo de la planta, incluso las hojas nuevas, el crecimiento se reduce, hay menor número de glomérulos en la panoja.

Deficiencia de calcio Las plantas con deficiencia de calcio presenta hojas basales deformes con curvaturas y defoliación prematura, ramas pequeñas y raíces con desarrollo imperfecto.

p. Preparación del suelo

Acondicionamiento del campo en zonas con riego

Surcar y realizar riego abundante en el campo elegido, para favorecer la germinación de malezas y cultivos anteriores, remover la tierra con aradura eliminando las malezas. El cultivo de quinua se establecerá sin competencia de malezas o en su defecto reducirá en un 30%.

Zonas de Secano

Mes antes del inicio de lluvias, surcar ligeramente el campo para enterrar semillas de malezas, cultivos anteriores y estiércol producto del pastoreo. La preparación del suelo favorece la exposición de insectos como huevos y larvas, retiene el agua, favorece la germinación de semillas en el campo e inicia la descomposición del estiércol. Las plantas germinadas serán eliminadas durante los trabajos con aradura y reducirán la población inicial de malezas en el campo.

Aradura

Con la humedad adecuada trabajar una profundidad de 30 cm. De este modo se logrará cortar, desmenuzar y voltear la capa arable del suelo. Una aradura bien realizada tiene efectos positivos como:

- Una mayor penetración del agua de lluvia o riego

- Incrementar la materia orgánica de los suelos por efecto del entierro de malezas, residuos de cosecha y estiércol del pastoreo.
- Eliminar huevos y larvas de algunos insectos dañinos para el cultivo.
- Favorece mayor desarrollo de las raíces de la quinua.

Desmenuzado

La labor de aradura deja terrones muy grandes en el campo y deben ser desmenuzados con una rastra de discos. Se recomienda pasar dos veces, en sentidos diferentes. Los terrones deben quedar muy pequeños considerando el tamaño de los granos de quinua.

Nivelado

Es recomendable nivelar el suelo para evitar encharcamiento o partes elevadas donde no llegará la humedad. El nivelado corrige irregularidades superficiales y permite una mejor distribución del agua y por lo tanto una germinación uniforme. Las labores de preparación de suelos darán como resultado una buena cama de siembra, con suelo fino, firme y libre de malezas (Aufhammer et al., 1994)

q. Siembra de la quinua

La siembra de semilla de quinua debe procurar realizarse a una profundidad de 1 a 1.5 centímetro aproximadamente. Las filas deben tener de 40 a 60 centímetros de distancia aproximadamente entre una y otra. la siembra más común es en surcos para facilitar las labores de deshierbo y aporque, la siembra puede realizarse a chorro continuo o a golpes distanciados de 10 a 20 cm, también puede sembrarse al boleó. La densidad de siembra es de 12 kg/ha aproximadamente.

Las plántulas aparecerán entre el tercer y cuarto día, dependiendo de la humedad del suelo (Ruales y Nair, 1993)

r. Fenológica del cultivo de quinua

a) Emergencia

una vez realizada la siembra de granos en condiciones óptimas, surge la emergencia mostrando así el inicio a la vida, en esta fase se observa los primordios, un conjunto de células embrionarias con propiedades para formar

distintos órganos de la planta; conforme pasan los días aumenta la altura de la planta dando lugar a la formación de las primeras hojas, acompañado por más hojas conforme pasen los días, esta fase dura unos 20 a 35 días aproximadamente después de la siembra; en esta fase son susceptibles a la presencia de plagas y enfermedades.

b) Desarrollo vegetativo

En esta fase, se observa la formación de 6 hojas verdaderas, dando inicio a la ramificación de nudos y hojas cotiledoneales; asimismo, las hojas recién formadas protegen al primordio garantizando el desarrollo vegetativo de la planta. Esta fase ocurre después de la emergencia alrededor de los 35 a los 80 días aproximadamente después de la siembra.

En esta fase se observa la presencia de mala hierba la manifestación de algunos insectos propios del cultivo, que son combatidas con labores culturales.

c) Floración

Esta fase inicia alrededor de los 80 días hasta los 100 días aproximadamente después de la siembra, dando inicio a las estructuras florales hermafroditas mostrando estambres separadas claramente visibles, sin embargo, estas son susceptibles al estrés hídrico y bajas temperaturas.

d) Formación de grano

Pasado la fase de floración después de los 100 a 120 días aproximadamente después de la siembra, da inicio a la formación de los primeros granos de consistencia blanda, que al ser presionadas entre las uñas revienta una sustancia lechosa, sin embargo, conforme pasan los días los granos toman consistencia, endureciéndose en su propio tegumento; esta fase puede durar de 40 a 50 días después de observar las primeras formaciones de grano. Resulta importante señalar, que la presencia de Eurásica quinua, no causa mayor daño en esta fase.

e) Madurez fisiológica

La madurez fisiológica se observa después de los 160 a 180 días aproximadamente después de la siembra; en esta fase podemos observar cambios significativos en la planta rindiéndose las hojas a la presión de la gravedad plegándose al tallo, tomando coloraciones amarillentas propias de rendimiento y muerte de la planta.

s. Propiedades nutricionales de la quinua

Según Bioersivity International, FAO (2013) el grano de quinua aporta más nutrientes por cada 100 calorías, por ello el título de “súper alimento” por su elevado valor nutricional en 100 g de peso seco en granos. La quinua contiene macronutrientes como proteínas que varían según la variedad, y se encuentra entre un 10,4-17%. La quinua tiene más proteínas que otros granos (arroz 8%, trigo 8,9%, maíz 9,4%, cebada 10%). A diferencia del resto, la quinua contiene una proteína completa de alto valor biológico que aporta todos los aminoácidos esenciales y no esenciales. Asimismo, la quinua no contiene gluten por lo que es apta para el consumo dentro de una dieta para celíacos. Además, la calidad y cantidad de sus proteínas la convierten en un alimento muy recurrido en las dietas veganas. El contenido de grasas en la quinua es del 5,5%. una mitad es grasa poliinsaturada; hidratos de carbono complejos; fibra insoluble en su mayoría; vitaminas y minerales principalmente la vitamina B2 (riboflavina) y ácido fólico.

t. Presentación de la quinua

La Quinua, Quinoa, presenta características diversas según las variedades en tamaño, color y sabor; las quinuas comerciales son de color blanco, rojo y negro o mixto conocida como la mezcla de estos, tienen tamaños de 1.6 a 2.0 mm de diámetro. Las principales zonas de Producción del cultivo de quinua, son zonas agroecológicas circunlacustre como El Collao, Azángaro, Huancané, Chucuito, Puno y San Román. La producción y rendimiento agrícola en Puno, varía según las variedades desde los 1200 a 3000 kg por hectárea, este rendimiento es regido por su amplia adaptación agroecológica del cultivo a condiciones climáticas y altitudinales entre 3,000 y 4,000 m.s.n.m. con precipitaciones de 300 a 750 mm anuales (SENASA, 2005).

Su presentación es de grano limpio libre de impureza; para el prelado, la quinua se somete a un proceso mixto de escarificado y lavado, se debe eliminar casi toda presencia de saponina (0.06%). La humedad óptima para exportación es de 9 a 12%. Tiene diferentes usos culinarios como sopas, guisos, graneados, purés, postres y bebidas. Las harinas pueden ser usadas en panificadoras, galletas, postres, dulces, bebidas, elaboración de fideos, ingrediente de salchichas y albóndigas. Hojuelas: bebidas, sopas, dulces Pop o Pipocas de consumo directo solo o con yogurt, helados, postres y chocolates, Bioversity International, (FAO, 2013).

1.2. Antecedentes

Kaushik *et al.* (2018). dirigió experimentos realizados en macetas para investigar el impacto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el crecimiento y los rasgos fisiológicos de las plantas de fenogreco (*Trigonella foenum-graecum* L.), expuestas a concentraciones variables de sal (NaCl 0, 75 y 150 mm). Los resultados revelan que la mayor concentración de sal causó una disminución en el crecimiento. Sin embargo, la inoculación con HMA mejoró el crecimiento, contenido de prolina, niveles de antioxidante, enzimas y fosfatasa en las plantas de fenogreco, en comparación con el cultivo testigo. Finalmente, se concluye que las plantas de fenogreco inoculadas con HMA fueron efectivas y tolerantes a la salinidad.

Shabala indica que, las heladas del altiplano son factores limitantes en la producción del cultivo de quinua. El estudio se realizó para comprender la respuesta de la quinua a diversas intensidades de helada y niveles de humedad relativa (HR). Los resultados indican que las heladas con duraciones de más de dos horas, causan daño significativo en las plantas. (Shabala *et al.*, 2013).

Coninx y Rineau (2017), evaluó los beneficios y desventajas de la fitorremediación asistida por micorrizas, concluyendo que el efecto de la micorrización como fitorremediación tiene efecto positivo, aunque con una gran variabilidad, presentado por diferentes factores de interacciones microbianas en la rizosfera, asimismo los hongos micorrízicos pueden competir con hongos saprófitos, bacterias y otros, por algunos nutrientes esenciales y ser afectados por agentes patógenos.

Diversos estudios en los campos de arroz, indican que los microorganismos (cianobacterias de arroz) desempeñan un papel importante en la construcción de la fertilidad del suelo. Este estudio indica que las cianobacterias dominantes fijadoras de N₂, crecieron hasta 25 días después de la inoculación (DAI). En general, se observó que las combinaciones de estos agroquímicos causaron toxicidad aditiva a las cianobacterias heterocistasas, mientras que estas fueron promotoras a las unicelulares (Kaushik *et al.*, 2018).

Microorganismos como *Gluconacetobacter diazotrophicus* son muy estudiados. Las cepas de esta especie han sido aisladas de todo el mundo aplicadas en planta de café en México (cepa tipo) y otra en plantas de maíz en Canadá, evaluada por su potencial promotor del crecimiento vegetal en cuatro variedades de maíz, rábano, pepino, tomate, pimiento y papa, en condiciones de invernadero y campo. Promoviendo el crecimiento de la planta en la mayoría de los casos. Su efecto promotor del crecimiento varió en el medio del cultivo tisular dependiendo de la concentración de sacarosa, ya que está relacionado con la producción de IAA y etileno. Según los datos presentados aquí, los autores recomiendan su uso como biofertilizantes (Chaharsooghi *et al.*, 2011).

Existen diversos estudios sobre la disponibilidad de nitrógeno del suelo (N), las plantas forman asociaciones micorrizas, y que absorben los nutrientes, las micorrizas ecto y ericoides influyen en la nutrición N de las plantas, pero los roles de las micorrizas arbusculares en la nutrición N están menos bien establecidos; quizás aún más importante, los modelos conceptuales actuales ignoran las posibles influencias de los hongos micorrízicos arbusculares (AM) en los procesos de ciclado de N. Revisamos la evidencia de la interacción entre la simbiosis de AM con microbios y los procesos implicados en el N-ciclo del suelo. Describimos los mecanismos que potencialmente podrían operar con respecto a AM interacciones entre hongos y N-ciclos (Veresoglou *et al.*, 2012).

Por otra parte la interacción simbiótica generalizada entre las plantas y los hongos micorrízicos arbusculares (AM) según indica Cosme *et al.* (2018), se basa en un diálogo molecular complejo con beneficios recíprocos en términos de nutrición, crecimiento y protección. Aproximadamente el 29% de todas las especies de plantas vasculares no hospedan la simbiosis AM, incluidos los principales cultivos. Bajo ciertas condiciones, sin embargo, las supuestas plantas no hospederas pueden ser colonizadas por hongos AM y desarrollar fenotipos rudimentarios de AM (RAM).

Diferentes investigaciones sobre los hongos benéficos para la agricultura se realizaron en las áreas semiáridas de África Occidental; donde se extrajeron hongos pertenecientes a los géneros *Glomus*, *Acaulospora*; *Gigaspora*, *Scutellospora* y *Sclerocystis*. Donde nueve de estas especies son del género *Glomales* (*Glomus claroideum*, *G. constrictum*, *G. intraradices*, *G. mossseae*, *Sclerocystis rubiformis*, *Gigaspora albida*, *Scutellospora gregaria*, *S. verrucosa* y una *Acaulospora sp.* No descrita) extraídos de suelos semiáridos de Senegal. Se observaron altas densidades de esporas en Sonkorong y Kolda bajo *Pennisetum pedicellatum* y *Eucalyptus camaldulensis*, respectivamente, en comparación con densidades de esporas relativamente bajas obtenidas en Bambey y Touba Toul bajo *P. glaucum* y *Faicfherbia albida*, respectivamente. Dentro de esta recolección los hongos más relevantes de la zona son los hongos del género *Glomus* (Diallo *et al.*, 1999).

El uso potencial de micorrizas como agente de biorremediación para suelos contaminados por radio cesio evaluado en invernadero. La absorción de ¹³⁷Cs por el pepino, el raigrás perenne y determinar de la inoculación con un producto comercial de micorrizas arbusculares (AM) en suelos contaminados con ¹³⁷Cs, con quinua no micorrízica incluida como planta de “referencia”. El efecto fue inconsistente. Los suelos arcillosos fueron 2,4 y 3,2 veces más altos que en plantas no inoculadas. Aunque la captación mejorada de Se observó ¹³⁷Cs por plantas de quinua en suelo arcilloso inoculado por los hongos AM, la infección de los hongos a las plantas no fue confirmado (Vinichuk *et al.*, 2013).

Kour *et al.* (2021). Indica que el fósforo (P) es importante para el desarrollo de las plantas, pero es el menos móvil de los elementos nutrientes en la planta y el suelo. Hay una gran diversidad de plantas microbiomas (epífitos, endofíticos y rizosféricos) del suelo que tienen la capacidad de solubilizar el P insoluble y ponerlo a disposición de las plantas. Los microorganismos solubilizantes y movilizadores de P pertenecen a los tres dominios, que comprenden arqueas, bacterias y eukarya. Las cepas pertenecientes a los géneros *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Natrinema*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Serratia* han sido reportados como solubilizadores de P eficientes y potenciales. El uso de solubilizadores de P, solos o en combinación con otros microbios promotores del crecimiento de las plantas como un consorcio microbiano ecológico, podría aumentar la absorción de P de los cultivos, aumentando sus rendimientos para la sostenibilidad agrícola y ambiental.

Por otro lado, Besharati *et al.* (2021). Realiza estudios sobre la sequía y el bajo contenido de carbono orgánico para la agricultura en las regiones áridas y semiáridas. La aplicación de hidrogeles y compost puede disminuir los efectos adversos de la sequía en las plantas. Se realizó experimentos para evaluar el efecto de aplicación de hidrogeles y compost sobre los parámetros de rendimiento y crecimiento de Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) estrés por sequía (DS). Los resultados mostraron que el estrés por sequía disminuyó significativamente los parámetros de crecimiento y el contenido relativo de agua (RWC), mientras que aumentó la fuga de iones (IL), la actividad antioxidante (AA) y el total contenido fenólico (TPC). Estos resultados confirman que el hidrogel y el compost podrían ser adecuado para uso agrícola en condiciones DS.

Relazando un análisis global sobre el cultivo de quinua Alandia *et al.* (2020). Indica los desafíos para los países agricultores a enfrentar un escenario de nuevas inquietudes y competidores. En 2018, la quinua estuvo presente para investigación y producción en 123 países. Aunque el 74% de las exportaciones mundiales todavía son abastecidas por Perú y Bolivia, la producción fuera de los Andes es creciente. Además, los precios al productor colapsaron en 2015, mientras que los rendimientos se mantuvieron inestables, con un promedio de 0.4-1.1 t ha⁻¹. Entender la realidad de la nueva situación de la quinua es fundamental para afrontar los retos de fomentar biodiversidad local, promoviendo la diversificación del mercado y cooperando con procesos inclusivos hacia la equidad beneficios.

Zhai *et al.* (2021). realizó experimentos con microcosmos para probar los efectos de los HMA en el N₂O. emisión y asimilación de N vegetal, con trigo como cultivo modelo, bajo enmienda orgánica (paja) en suelos con diferentes texturas. Encontrando que los HMA suprimieron las emisiones de N₂O, promovieron la absorción y removilización de N micorrízico a los granos y aumentaron la biomasa del grano bajo enmienda orgánica en el suelo arenoso. Sin embargo, AMF hizo no afecta la emisión de N₂O, aunque aumenta la absorción de N de la planta, pero inhibe la removilización de N micorrízico a los granos bajo enmienda orgánica en el suelo arcilloso. Estos hallazgos destacan que los HMA tienen diferentes efectos sobre el N₂O emisión y translocación de N entre suelos arenosos y arcillosos. Manejo apropiado del suelo para micorrizas

Garg y Cheema, (2021). Indican que la acumulación de As (metaloides) degrada el suelo al afectar negativamente las actividades de las enzimas del suelo, que a su vez reduce el

crecimiento y el rendimiento de la planta que habita. Por lo tanto, estudiar la eficacia de los hongos *Rhizogloium intraradices* (Ri), *Funneliformis mosseae* (Fm) y *Claroideogloium claroideum* (Cc) en impartir tolerancia al estrés de arsenato de As (V) y arsenito. Se determinó que, Ri fue altamente eficiente en la mejora de las actividades de las enzimas del suelo: fosfatasa (PHA), β -glucosidasa (BGA) e invertasa (INV), impartiendo tolerancia a metaloides en genotipos de garbanzo.

Nadeem *et al.* (2014). Realiza estudios sobre el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés, e indica que puede potenciarse mediante la aplicación de inoculación microbiana que incluye rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) y hongos micorrízicos. Estas interacciones pueden ser vitales para la agricultura sostenible porque principalmente dependen de procesos biológicos más que de agroquímicos para mantener el crecimiento y desarrollo de las plantas como, así como la salud adecuada del suelo en condiciones de estrés. Se cree que las interacciones biológicas entre PGPR y hongos micorrízicos causan un efecto acumulativo en todos los componentes de la rizosfera, y estas interacciones también se ven afectadas por factores ambientales como el tipo de suelo, la nutrición, la humedad y la temperatura.

Arocena *et al.* (2012). Demuestra en experimentos de laboratorio, los análisis de difracción de rayos X de materiales arcillosos mostraron que el hongo *Glomus* cuando se inocula en cebada y canola produce varios tipos de filosilicatos que contienen menos K (por ejemplo, illitas, esmectitas y vermiculitas intercaladas con hidroxilo) de biotita y dejaron algo de biotita (el mineral rico en K) intacto. La transformación de la biotita y la absorción de K (y Mg) dependen de la planta-hongo sistema simbiótico, y la formación de minerales arcillosos será una función del tipo de planta y las relaciones simbióticas en los suelos.

Asimismo, Yang *et al.* (2021). Determina los contaminantes emergentes como los microplásticos y las nanopartículas artificiales (NP) se han convertido en un problema ambiental de preocupación mundial, pero se sabe poco acerca de sus efectos conjuntos en los sistemas suelo-planta. El HDPE y el PLA en dosis bajas promovieron el crecimiento de las plantas, mientras que el PLA en dosis altas de manera significativa disminuyó de los brotes de maíz (entre un 16% y un 40%) y la biomasa de raíces (entre un 28% y un 50%), lo que indica que el PLA en dosis altas puede haber fuerte fitotoxicidad. En general, nuestros hallazgos implican un aumento de la contaminación por microplásticos y los NP

pueden tener profundos impactos ecológicos en la aptitud de las plantas, la calidad de la planta y la composición y diversidad de la comunidad microbiana del suelo, lo que tiene como resultado consecuencias inciertas para agroecosistemas.

Khalediyan *et al.* (2021). Realiza estudios sobre los efectos de especies de hongos micorrizas arbusculares (HMA) (*Glomus intraradices* y *G. mosseae*), nitrógeno (N) fertilizantes y rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) sobre las características de crecimiento, indican que, aumentó significativamente ($P < 0.05$) la altura de la planta, la longitud de la raíz, fresca y seca. pesos de brotes y raíces, número de ramas de brotes y número de inflorescencias por planta, contenido de EO, contenido de fósforo (P), nitrógeno (N), hierro (Fe), potasio (K) y cobre (Cu). Se obtuvieron las mayores concentraciones de N, K, Fe y P en albahaca y satureja. cuando se utilizaron PGPR o *G. mosseae*. Este estudio muestra que la aplicación de biofertilizantes no solo mejora los rendimientos en medicina

Las plantas y micorrizas arbusculares asociadas. hongos (HMA). crecen en dos subproductos del procesamiento de arenas bituminosas después del betún extracción de las arenas bituminosas en el norte de Alberta, Canadá. Se evaluó la biomasa vegetal, la morfología de las raíces, el contenido de agua de las hojas, el contenido de fósforo del tejido de los brotes y la colonización de micorrizas. Ambas especies de plantas tuvieron un crecimiento reducido en CTS y mezcla de relaves en relación con el suelo arenoso. AMF la frecuencia e intensidad en las raíces de *E. trachycaulus* no fue influenciada por los hidrocarburos del suelo. Estas combinaciones se pueden utilizar en el futuro para mejorar la planta. crecimiento en la recuperación de CTS y mezcla de relaves (Boldt-Burisch *et al.*, 2018).

Vargas Aguirre *et al.* (2018). La germinación y postgerminación son procesos esenciales en el establecimiento de la planta, sin embargo, los estudios realizados para evaluar el efecto de los hongos arbuscular - micorrízicos y el mercurio. contaminación en plántulas postgerminadas de *Lactuca sativa*, fue encontrado que las micorrizas arbusculares mejoran el alargamiento de las raíces y el desarrollo de las plántulas, pero no previenen el daño celular en las raíces y el hipocótilo causado por el estrés oxidativo. Mercurio y arbuscular - los efectos de los hongos micorrízicos donde se afilan más en las raíces que en hipocótilo. Se hipotetiza que el mejor estado de las plántulas micorrízicas ocurre debido a los beneficios nutricionales que las micorrizas provocan en estas plántulas.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

La actividad agrícola se ha visto incrementada en las últimas décadas, debido al aumento demográfico (Kumar *et al.*, 2018). Diariamente se adicionan alrededor de 250 millones de personas en el mundo, a los 7.200 billones que existen en el planeta. Sin embargo, casi tres cuartas partes de la población del planeta, está hambrienta, desnutrida o malnutrida; buscar herramientas para combatir la desnutrición o la malnutrición es la esencia del trabajo; el mundo enfrenta cierta contrariedad de desnutrición y sobrepeso, sobre todo en los países de ingresos medios y bajos. La relación entre alimentación y salud ha sido demostrada multitud de veces. Según la OMS, una dieta saludable protege enfermedades no transmisibles, como la diabetes, las cardiopatías o el cáncer y otros; mantener modelos de nutrición o alimentación mejora un envejecimiento saludable.

El año 2013, las Naciones Unidas declaró Año Internacional de la Quinoa, y consecuentemente el grano de oro conquistó el mundo, convirtiéndose en uno de los alimentos más codiciados. Sin embargo, la quinoa ayara o mamaquinua tiene una reciente demanda en el mercado nacional, esta demanda va en aumento por su alto valor curativo, usada para el tratamiento de diversos males. Una alternativa para incrementar su producción de forma natural es, mediante la aplicación de hongos micorrízicos simbióticos; analizar el rendimiento y determinar el comportamiento de los cultivos andinos frente a la aplicación de los hongos micorrízicos genera diferentes interrogantes.

Por otro lado, la producción de alimentos a gran escala ocasiona la degradación de los recursos naturales (Pimentel y Burgess, 2018). Una solución cómoda que responde la seguridad alimentaria, es el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas químicos para el incremento de la producción agrícola (Liu y Lal, 2015). Sin embargo, el uso de abonos orgánicos (hongos micorrízicos) es una alternativa para una agricultura saludable, preservar el medio ambiente, mejorar la fertilidad del suelo, prevenir enfermedades en plantas, mejorar el contenido nutricional y obtener alimentos orgánicos, conservando la biodiversidad, y sobre todo respetando nuestro planeta (Hoysted *et al.*, 2018).

Los avances científicos en biotecnología muestran que, ciertos microorganismos asociados o consorciados, favorecen al crecimiento de plantas, estimulando resistencia a plaga y enfermedades, adaptarse al estrés abiótico, mejorar la producción de biomasa y otros (Basu *et al.*, 2018). Asimismo, favorece la biota del suelo gracias a la aplicación de hongos micorrízicos u asociaciones de estas, aplicadas a diferentes cultivos (Uzoh y Babalola, 2018).

Por las consideraciones expuestas sobre las micorrizas, surgen interrogantes que orientan el desarrollo del proyecto de investigación.

2.2. Enunciado del problema

a. Problema general

- ¿Cómo influye los hongos micorrízicos vesículo arbusculares, en el cultivo de quinua, en el Collao Ilave – Puno?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el rendimiento de tres variedades de quinua, con la aplicación de HMVA?
- ¿Cuál es la dosis óptima de hongo micorrízicos vesículo arbuscular, para incrementar el rendimiento en tres variedades de quinua?

2.3. Justificación

Los biofertilizantes son microorganismos benéficos, que fijan nitrógeno y solubilizan el fósforo, potasio y microelementos de forma que sean asimilable para la planta, asimismo, activan fitohormonas que generan tolerancia al ataque de plagas y enfermedades (Hršelová *et al.*, 1989). El uso de los Biofertilizantes, está demostrando ser una alternativa para incrementar el rendimiento de los cultivos de forma natural, además, son capaces de disminuir de forma efectiva la incidencia de plagas y hongos que producen enfermedades en los cultivos (Diallo *et al.*, 1999).

Sin embargo, la relación con la naturaleza existió desde inicios de los tiempos, encontrando el sentido de complementariedad con otros seres vivos y la naturaleza, no obstante, la permacultura obedece a nuevos principios ecológicos de vida saludable, haciendo uso de los recursos disponibles. En ciudades modernas como Amsterdam en Holanda, reducen sustancialmente el uso de fertilizantes de origen químico, implementan corredores de bicicletas, generan energía solar para uso doméstico o público, buscan reducir el impacto en el medio ambiente, menos basura y menor emisión de CO₂ (Sánchez, 2017).

Por otro lado, La quinua puede prosperar desde el nivel del mar hasta los 4.000 m.s.n.m, aproximadamente y tolerar diferencias climatológicas, soportar altos niveles de radiación fotosintética activa y algunas variedades toleran condiciones de salinidad (40 dS m⁻¹) (Rojas *et al.*, 2011). Fisiológicamente la quinua puede tolerar la salinidad mediante la acumulación de iones y ajuste osmótico, logrando mantener la turgencia celular y transpiración foliar; por otro lado, la quinua es un alimento completo en nutrientes, aportando vitaminas, proteínas, aceites, fibra, almidón, y minerales especialmente el calcio, hierro, fósforo, magnesio, potasio y zinc.

La importancia de la investigación reside en determinar el rendimiento del cultivo de la quinua, e incrementar su producción gracias a la aplicación de hongos micorrízicos simbióticos aplicado como producto Micorrizafer.

La aplicación del hongo micorrízico en la agricultura, viene siendo investigado intensamente con resultados positivos; los estudios muestran que las micorrizas asociadas a la raíz, facilita la recuperación de suelos degradados (Strullu, 2018). Esta asociación

ayuda a mejorar el suministro de nutrientes como nitrógeno y fósforo a las plantas y fijando hasta un 20% del carbono fijo en las plantas (Basu *et al.*, 2018).

Las búsqueda de paradigmas concernientes a una agricultura saludable, que respete el medio ambiente y conserve la biodiversidad microbiana, hace posible, la investigación sobre el efecto de la aplicación del hongo micorrízicos vesículo arbuscular (*Glomus Intraradice*), en el cultivo de Quinoa reconocida y aceptada en el mundo por su alto valor nutritivo, de origen andino, declarada como producto bandera en el Perú, mediante resolución del Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR) estableciendo que la Comisión Nacional de Productos Bandera (COPROBA) encargada de divulgar, promover, proteger y conservar el grano de oro en el interior y exterior del país (INDECOPI, 2013).

Según Veresoglou *et al.*, (2012) los efectos benéficos de las Micorrizas en el suelo, están muy relacionados con sus efectos sobre las plantas, por estar estrechamente relacionado (suelo – planta). Sin embargo, los hongos micorrízicos vesículo arbusculares, establece una relación de mutuo beneficio en la raíz con la planta. Esta relación, mejora sustancialmente la capacidad de la planta para asimilar los nutrientes esenciales para su desarrollo, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y algunos micronutrientes (Tamm *et al.*, 2018). asimismo, los filamentos de los hongos, hacen que la planta aparenta tener mayor volumen en la raíz, lo que le permite una mejor exploración del suelo, mejorando la capacidad de aprovechamiento del agua, mayor desarrollo de los tallos, flores, frutos, resistencia a enfermedades, salinidad del suelo, pH del suelo y factores climáticos (Zhang y Chui, 2019).

Investigaciones realizadas por Biofabrica Siglo XXI, (2015.) El uso de la asociación de hongos micorrízicos vesículo arbuscular en la agricultura reduce costos de producción, obtiene cultivos sanos y productivos, cosechas tempranas, es totalmente biológico, aumenta los rendimientos de los cultivos hasta en un 30%, reduce costos de producción, incrementa la salud del cultivo y del suelo, reduce el consumo de agua, mejora el aprovechamiento del agua hasta en un 30%, mejora la planta desde la raíz, promueven la absorción del nitrógeno ambiental, ayuda a la solubilización de nutrientes esenciales como el fósforo y el potasio, estimula la formación de hormonas que ayudan a crear un sistema radicular de mayor tamaño (García *et al.*, 2016) los hongos micorrízicos vesículo arbusculares se encuentran de manera natural en el suelo (bacterias y hongos), no

contaminan al suelo, ni daño al hombre. Estos microorganismos fungen como mejoradores de la calidad del suelo y conservadores del medio ambiente (Gianinazzi *et al.*, 2007).

La quinua tiene nutrientes, proteínas, aceites, fibra, almidón, vitaminas y minerales entre ellos calcio, hierro, fósforo, magnesio, potasio y zinc que forma parte de la dieta de las poblaciones originarias; en la actualidad, estos cultivos rústicos, son considerados alimentos de alta calidad, tienen un gran potencial de transformación en productos procesados (Heil *et al.*, 2017).

Según Hernández, (2015). el cultivo de quinua, tiene gran importancia en el sector agrícola peruano, porque es una de las principales fuentes de empleo y ocupa a más 597 mil productores a nivel nacional, sobresaliendo el departamento de Puno.

2.4. Objetivos

a. Objetivo general

- Determinar la influencia del hongo micorrízicos vesículo arbuscular, en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en el Collao Ilave – Puno.

b. Objetivos específicos

- Estimar el rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* W.), con la aplicación de HMVA.
- Determinar la dosis óptima de hongos micorrízicos vesículo arbusculares, para incrementar el rendimiento en tres variedades de quinua.

2.5. Hipótesis

a. Hipótesis general

- La influencia del hongo micorrízicos vesículo arbuscular, en el cultivo de quinua, en el Collao Ilave – Puno; es progresiva.

b. Hipótesis específicas

- El rendimiento de tres variedades de quinua, con la aplicación de HMVA. Es superior al cultivo testigo.



- La dosis óptima de hongo micorrízicos vesículo arbuscular, para incrementar el rendimiento en tres variedades de quinua, es la de mejor rendimiento.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

La investigación se realizó a orillas del lago navegable más alto del mundo, el Titicaca, en tres zonas: zona lago comprendida por el sector de C. P. Sulcacatura, en las coordenadas E 439883.58, N 8230764.24, altitud 3825 m; zona media C.P Laccollo Sejjollo E 433407.61, N 8216923.52, altitud 3867 m; y zona alta C.P. Chijichaya E 426491.24, N 8210263.54, altitud 3893 m; distrito de Ilave; provincia de el Collao, Región Puno, altitudes que varían desde los 3,820 hasta los 3,900 m. en el departamento de Puno - Perú. ecológicamente ubicado en la región Suni, con clima frío y seco. se efectuó durante los meses de octubre del 2019 a marzo del 2020, en condiciones de secano. Geográficamente zona representativa para el cultivo de la quinua.

3.2. Población

La población está compuesta por el cultivo de quinua en las variedades Blanca de Juli, Kcancolla y Pasankalla, en la provincia del Collao Ilave.

3.3. Muestra

La muestra está compuesta por 180 plantas de quinua que corresponde a tres variedades de quinua Blanca de Juli, Kcancolla y Pasankalla; tres zonas de estudio, zona lago, zona media y zona alta y cuatro dosis de 300 g, 200 g, 100 g, y 00 g de HMVA *Glomulus itrarradices*/kg de semilla de quinua, en 600 m², de ellas cinco plantas fueron evaluadas al azar (Pereira *et al.*, 2017; Rica *et al.*, 2012; Di Rienzo *et al.*, 2008).

3.4. Método de investigación

La metodología de investigación es experimental y secuencial. Consistió en inocular la superficie de la semilla de quinua con HMVA MicorrizoFer® previamente humedecida con adherente, secado a luz indirecta, y sembrada. Las dosis en prueba fueron A) 300; B) 200; C) 100; y D) 0,00 g de HMVA/kg de semilla de quinua. Las variedades son, Kcancolla, Blanca de Juli y Pasankalla. Las zonas de estudio son: zona Lago C. P. Sulcacatura; zona media C.P Lacollo Sejjollo; zona alta C.P. Chijichaya; Distrito de Ilave; provincia de el Collao, Región Puno. El diseño estadístico fue de bloque completamente al azar con un arreglo factorial de $A=4 \times B=3 \times C=3$, donde A = dosis, B = Variedades y C = Zonas de estudio, con 36 tratamientos y cinco repeticiones haciendo un total de 180 unidades experimentales. Asimismo, para determinar la significancia entre tratamientos se utilizó la prueba de rango múltiple, Tukey al 0.05 de probabilidad.

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

a. Determinación del rendimiento del cultivo de la quinua

La metodología para determinar el rendimiento del cultivo de quinua con la aplicación de HMVA, es un método analítico comparativo, analizando rendimientos, en base a la producción obtenida de granos de quinua/planta, aplicada con diferentes dosis de HMVA/planta (Las dosis en prueba fueron A) 300; B) 200; C) 100; y D) 0,00 g de HMVA/kg de semilla de quinua.), evaluada en tres zonas de estudio (Las zonas de estudio son: zona Lago C. P. Sulcacatura; zona media C.P Lacollo Sejjollo; zona alta C.P. Chijichaya; distrito de Ilave).

El rendimiento se determinó con mediciones gravimétricas, en promedio de 10 m², e inferidos a Tn/ha. **Materiales** usados Fueron: tarjetas de notas o cuaderno de notas, balanza analítica, y otros; Los insumos usados son; la cosecha del cultivo de Quinua en sus tres variedades Blanca de Juli, Kcancolla y Pasankalla. Las variables analizadas son el rendimiento de granos por panoja, rendimiento de granos por planta de quinua, rendimiento de granos de quinua por m² y el rendimiento promedio de quinua en 10 m² de producción. Asimismo, para determinar el rendimiento del cultivo de quinua en sus diferentes variedades se realizó pruebas estadísticas (prueba F de Fisher y la correlación Pearson).

b. Procedimiento

Para determinar el rendimiento del cultivo de quinua aplicada con hongos micorrízicos Micorrizafer, primeramente, se estimó la cantidad de semilla de quinua a usar en 1 m^2 e inferir en el número de parcelas para el tratamiento. Se estimó de 12 a 15 kg/ha de semilla (Senasa, 2005) y la dosis de hongos micorrízicos Micorrizafer de 1.5 a 2 kg de Sustrato de HM Micorrizafer/ha. (Biofabrica Siglo XXI, 2015). Así mismo, la cantidad de semilla de quinua es vertida en un bol o lavador, agregando pegamento o adherente, preparada a base de agua y azúcar, una vez homogenizada la semilla de quinua con el adherente se le agregó la dosis respectiva de HMVA homogenizando hasta que cada grano de quinua esté rodeado del sustrato de hongo micorrízicos. Esta mezcla es secada a luz indirecta por un lapso de 15 a 20 minutos, una vez secada estará lista para la siembra. Al momento de la siembra los terrenos fueron previamente preparados y realizados los surcos con un distanciamiento aproximado de 30 a 35 cm entre surco y surco, la siembra se realizó al voleo y recubierta con ramas de árboles. Seguidamente se realizó la evaluación de forma secuencial, obteniendo datos durante las diferentes fases fenológicas del cultivo de quinua. Para la obtención de datos del rendimiento, se pesó las panojas de quinua/planta, de los diferentes tratamientos y se promedió en 1m^2 y en 10m^2 estos datos fueron inferidos a toneladas por hectárea. Finalmente se realizó el análisis estadístico determinando la significancia entre tratamientos, con la prueba de rango múltiple, Tukey al 0.05 de probabilidad.

c. Determinación de la dosis óptima de HMVA/ha

La metodología para determinar la dosis óptima de HMVA/ha, de cultivo de quinua, es un método analítico comparativo, que consistió en analizar el mejor rendimiento, en base a la producción obtenida de granos de quinua/planta, aplicada con diferentes dosis de HMVA/planta y evaluada en tres zonas de estudio. La dosis óptima se determinó bajo un análisis de promedios de resultados obtenidos. Los materiales usados fueron: tarjetas de notas o cuaderno de notas, computadora; Los insumos usados son; datos obtenidos del rendimiento del cultivo de quinua en sus tres variedades Blanca de Juli, Kcancolla y Pasankalla, de las tres zonas de estudio. Las variables analizadas son: el rendimiento promedio



de quinua en 10 m² de producción. Asimismo, para determinar la dosis óptima del cultivo de quinua en sus diferentes variedades se realizó pruebas estadísticas (prueba F de Fisher y la correlación Pearson).

d. Procedimiento

Para determinar la dosis óptima de HMVA Micorrizafer a aplicar en el cultivo de quinua, primeramente, se analizó los resultados de los rendimientos del cultivo de quinua obtenidos en los tratamientos, variedades, repeticiones y diferentes zonas; asimismo, se realizó la interacción de las variables usando herramientas estadísticas. con la prueba de rango múltiple, Tukey al 0.05 de probabilidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de la aplicación de los HMVA en el cultivo de la quinua

a. Emergencia de la planta de quinua

En la fase de emergencia las variables de variedad (Kcancolla), zona (Lago) y dosis de (300 g) de HM, presenta resultados altamente significativos, lo que indica que existe precocidad en la fase de emergencia respecto a cultivo testigo. El análisis de varianza para la emergencia de la planta de quinua, (tabla 1), se observa que la fuente de variabilidad de número de repeticiones, no existe diferencia estadística significativa, en consecuencia, las características del suelo fueron uniformes en el área experimental. Las fuentes de variabilidad de zonas, dosis de hongo y variedades de quinua, existe diferencia estadística altamente significativa, lo que significa que las variables de zonas, dosis de hongos y variedades de quinua, influyeron de manera diferente en la emergencia de la planta de quinua. La interacción de zona - dosis, no existe diferencia estadística, lo que indica que estos factores actúan de forma independiente sobre la emergencia de la planta. La interacción de zona - variedad de quinua, se determinó diferencia estadística significativa, lo que indica que estos factores actúan de forma dependiente sobre la emergencia de la planta. En la fase de interacción dosis de hongo - variedad de quinua, no se encontró diferencia estadística, indicando que estos factores actúan de forma independiente sobre la emergencia de la planta.

Tabla 1

Análisis de varianza para la fase de emergencia de la planta de quinua.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Zona	2	90.7111	45.3556	39.07	3.07	4.79	**
Hongo	3	926.0889	308.6963	265.9	2.68	3.95	**
Variedad	2	200.0444	100.0222	86.17	3.07	4.79	**
Zona*Variedad	4	10.4889	2.6222	2.26	2.45	3.48	*
Zona*Hongo*Var	12	28.2222	2.3519	2.03	1.83	2.34	*
Error	140	162.5111	1.1608				
Total corregido	179	1434.4444					

C.V.= 5.27%

Media = 20.44

Asimismo, se determinó diferencia estadística significativa en la interacción de zona - dosis de hongo - variedades quinua, lo que indica que estos factores actúan de forma dependiente sobre la emergencia de la planta de quinua. El coeficiente de variabilidad es de 5.27%, que se encuentra en el rango aceptable.

La prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos de interacción de zona - dosis de hongo - variedades quinua, en la fase de emergencia (tabla 2), se detalla que el tratamiento de zona alta más la dosis de 0.0 g de hongo más la variedad Pasankalla, es el tratamiento con el periodo más tardío en la fase de emergencia con 25.60 días, siendo estadísticamente superior. Los tratamientos zona lago más la variedad Blanca de Juli más la dosis 300 g de hongo, zona media más la variedad Kcancolla más la dosis de 300 g de hongo y la zona lago más la variedad Kcancolla más la dosis 300 g de hongo, son los que con menos días emergieron con 16.40, 15.60 y 14.20 días respectivamente, y son estadísticamente similares.

Tabla 2

Resumen prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para la fase emergencia de la planta de quinua.

Zona	Variedad	Dosis	Emergencia de la planta (Días)	
Zona alta	Pasankalla	0.0	25.60	a
Zona media	Pasankalla	0.0	24.60	a b
Zona alta	Pasankalla	100	24.00	a b c
Zona media	Pasankalla	100	23.40	a b c d
Zona media	Blanca de Juli	0.0	22.40	b c d e
Zona lago	Kcancolla	0.0	22.00	b c d e f
Zona lago	Pasankalla	100	21.80	c d e f g
Zona lago	Blanca de Juli	0.0	21.60	c d e f g h
Zona alta	Kcancolla	100	21.40	c d e f g h i
Zona alta	Blanca de Juli	100	20.80	d e f g h i j
Zona alta	Kcancolla	200	20.60	e f g h i j k
Zona media	Blanca de Juli	100	20.40	e f g h i j k l
Zona alta	Blanca de Juli	200	19.40	f g h i j k l m
Zona alta	Pasankalla	300	19.00	h i j k l m n
Zona lago	Blanca de Juli	200	18.00	k l m n o
Zona lago	Blanca de Juli	300	16.40	n o p
Zona lago	Kcancolla	300	14.20	p

En la figura 1, se observan las líneas de tendencia para la interacción entre variedades de quinua - zonas y dosis de hongo, sobre los días de emergencia de la planta de quinua. Donde la variedad Pasankalla en la zona alta más la dosis de 0.0 g de hongo, es el que con mayores días emergió con 25.60 días, siendo el tratamiento más tardío. Sin embargo, el cultivo prematuro en la fase de emergencia fue la planta de quinua variedad Kcancolla en la zona lago con la dosis 300 g de hongo micorrízico, con 14.20 días.

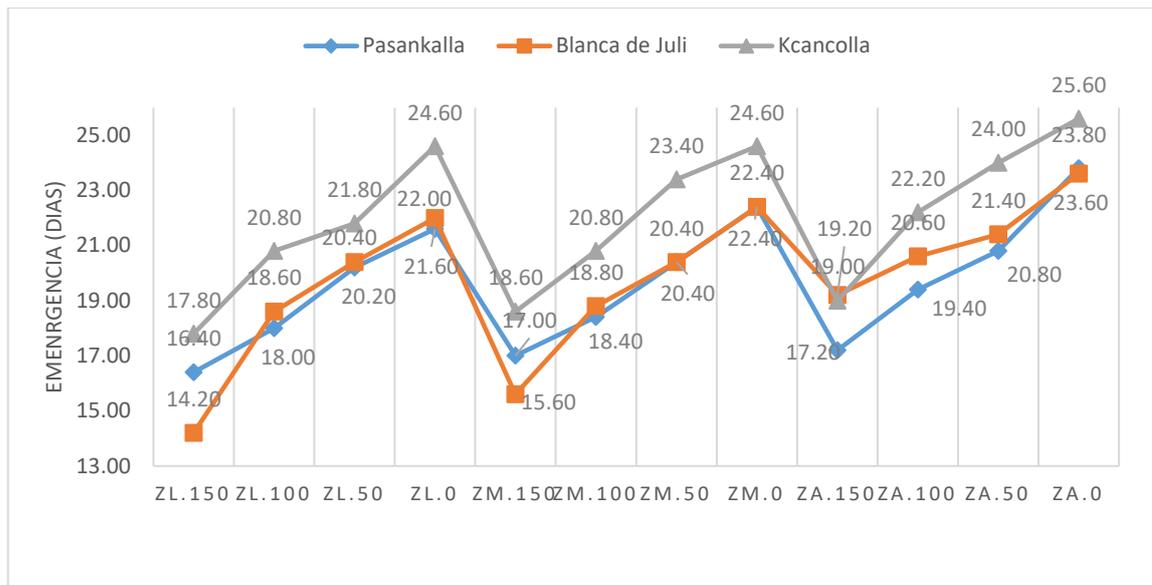


Figura 1. Interacción de las variedades de quinua por zonas y por dosis de hongo de la fase emergencia de la planta de quinua; Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

b. Altura de planta

El análisis de varianza para altura de planta de la quinua, (tabla 3), muestra la fuente de variabilidad de número de repeticiones, donde no existe diferencia estadística significativa, en consecuencia, las características del suelo experimental no influyeron en la determinación de la altura de la planta alegando características similares o uniforme en el área experimental. Las fuentes de variabilidad de zonas, dosis de hongo y variedades de quinua, existe diferencia estadística significativa, lo que significa que las diferentes zonas, dosis de hongos y variedades de quinua, influyeron de manera diferente en la altura de planta. En la interacción de zona por dosis de hongo, se encontró diferencia estadística altamente significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre la altura de la planta. La interacción de zona - variedad de quinua, se determinó diferencia estadística significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre la altura de la planta. La interacción dosis de hongo por variedad de quinua, se encontró diferencia estadística altamente significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre la altura de la planta. Además, se determinó diferencia estadística significativa en la interacción de zona - dosis de hongo por variedades quinua, lo cual explica que estos factores

actúan de forma dependiente sobre la altura de la planta de la quinua. El coeficiente de variabilidad es de 2.55%, que se encuentra en el rango aceptable.

Tabla 3

Análisis de varianza del cultivo de quinua en la fase altura de planta.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Zona	2	2606.0778	1303.0389	115.3	3.07	4.79	**
Hongo	3	12932.4667	4310.8222	381.4	2.68	3.95	**
Variedad	2	6770.4778	3385.2389	299.5	3.07	4.79	*
Zona*Hongo	6	725.5667	120.9278	10.7	2.18	2.96	**
Zona*Variedad	4	146.8889	36.7222	3.25	2.45	3.48	*
Hongo*Variedad	6	258.2333	43.0389	3.81	2.18	2.96	**
Zona*Hongo*Var	12	446.9333	37.2444	3.3	1.83	2.34	*
Error	140	1582.4111	11.3029				
Total corregido	179	25482.6444					

C.V.= 2.55%

Media = 131.66

La prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos en la interacción de zona - dosis de hongo - variedades quinua, evaluado en la fase altura de planta de la quinua, mostrada en la tabla 4, los tratamientos zona lago, variedad Kcancolla, dosis 300 g de hongo; zona media, variedad Kcancolla, dosis de 300 g de hongo y finalmente el tratamiento zona lago, variedad Blanca de Juli, dosis 300 g de hongo, son los de mayor altura con 157.80, 154.00 y 300.40 cm respectivamente, siendo estadísticamente superiores a los demás tratamientos. Asimismo, el tratamiento de zona alta, dosis de 0.0 g de hongo, variedad Pasankalla, con 110.00 cm siendo la menor altura de planta de la quinua, lo que indica que los diferentes tratamientos de hongos micorrízicos realizaron algún tipo de simbiosis por lo que se explica el desarrollo en la altura de la planta.

Tabla 4

Interacción de zona, variedad y dosis de hongo, en la fase altura de planta.

Zona	Variedad	Dosis	Altura de planta (cm)	
Zona lago	Kcancolla	300	157.80	a
Zona media	Kcancolla	300	154.00	a b
Zona lago	Blanca de Juli	300	150.40	a b c
Zona lago	Kcancolla	200	145.80	b c d
Zona media	Blanca de Juli	300	143.60	c d e
Zona media	Kcancolla	200	140.80	d e f
Zona lago	Kcancolla	100	138.80	d e f g
Zona media	Pasankalla	300	136.60	e f g h
Zona alta	Kcancolla	200	136.00	e f g h i
Zona media	Blanca de Juli	200	135.60	e f g h i j
Zona alta	Blanca de Juli	200	134.00	f g h i j k
Zona lago	Blanca de Juli	100	131.20	g h i j k l
Zona lago	Kcancolla	0.0	130.40	h i j k l m
Zona alta	Pasankalla	300	128.20	i j k l m n
Zona media	Blanca de Juli	0.0	123.80	l m n o
Zona lago	Pasankalla	100	122.40	m n o p
Zona lago	Pasankalla	0.0	115.60	o p q
Zona alta	Pasankalla	0.0	110.00	q

En la figura 2, se muestran las líneas de tendencia para la interacción entre las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo, que influye en la altura de la planta de quinua. Donde la variedad Kcancolla en la zona lago con la dosis 300 de hongo, consiguió 157.80 cm de altura de planta siendo este de mayor altura. Sin embargo, la planta de quinua con menor altura fue de la variedad Pasankalla en la zona alta con la dosis de 0.0 g de hongo, con 110.00 cm de altura promedio de la planta.

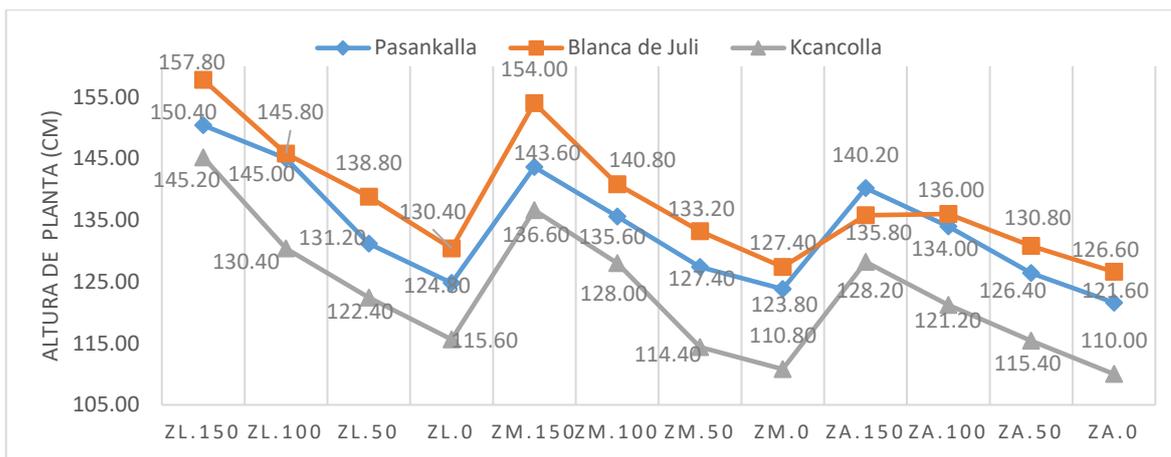


Figura 2. Interacción de las variedades de quinua por zonas y por dosis de hongo sobre la altura de la planta de quinua; Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

c. Diámetro de tallo

El análisis de varianza para el diámetro de tallo de la planta de quinua, (tabla 5), muestra que la variable de número de repeticiones, no presenta diferencia estadística significativa, en consecuencia, las características físico químicas del suelo experimental no influyeron en el área experimental. En el análisis de variabilidad de zonas, dosis de hongo y variedades de quinua, existe diferencia estadística significativa, lo que significa que las diferentes zonas, dosis de hongos y variedades de quinua, influyeron de manera diferente en el diámetro de tallo. En la interacción de zona por dosis de hongo, se encontró diferencia estadística altamente significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre el diámetro de tallo. La interacción de zona - variedad de quinua, se encontró diferencia estadística significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre el diámetro del tallo. La interacción dosis de hongo - variedad de quinua, existe diferencia estadística significativa, lo que indica que estos factores actúan de forma dependiente sobre el diámetro de tallo, Además, se encontró diferencia estadística significativa en la interacción de zona por dosis de hongo por variedades quinua, lo cual explica que estos factores actúan de forma dependiente sobre el diámetro de tallo de la planta de quinua. El coeficiente de variabilidad es de 4.34%, que se encuentra en el rango aceptable.

Tabla 5

Análisis de varianza del diámetro de tallo del cultivo de quinua.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Zona	2	13.3543	6.6772	19.62	3.07	4.79	*
Hongo	3	231.5329	77.1776	226.8	2.68	3.95	**
Variedad	2	109.9000	54.9500	161.5	3.07	4.79	**
Zona*Hongo	6	12.5834	2.0972	6.16	2.18	2.96	**
Zona*Variedad	4	3.4157	0.8539	2.51	2.45	3.48	*
Hongo*Variedad	6	5.3898	0.8983	2.64	2.18	2.96	*
Zona*Hongo*Var	12	7.6959	0.6413	1.88	1.83	2.34	*
Error	140	47.6402	0.3403				
Total corregido	179	434.7120					

C.V.= 4.34%

Media = 13.43

La prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos de interacción en: zona - dosis de hongo - variedades quinua, analizados en el diámetro de tallo de la quinua, muestra la tabla 6, que los tratamientos zona lago, variedad Kcancolla con la dosis 300 g de hongo; zona media, variedad Kcancolla con la dosis de 300 g de hongo y la zona lago, variedad Pasankalla con la dosis 300 g de hongo, son los de mayor diámetro de tallo con 16.92, 15.88 y 15.54 mm de diámetro de tallo respectivamente, son estadísticamente similares y superiores a los demás tratamientos. Finalmente, se encuentra el tratamiento de zona alta, variedad Blanca de Juli con la dosis de 0.0 g de hongo, con 10.88 mm siendo de menor diámetro de tallo de la planta de quinua.

Tabla 6

Resumen prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para diámetro de tallo.

Zona	Variedad	Dosis	Diámetro de tallo (mm)	
Zona lago	Kcancolla	300	16.92	a
Zona media	Kcancolla	300	15.88	a b
Zona lago	Pasankalla	300	15.54	a b c
Zona alta	Kcancolla	300	15.12	b c d
Zona lago	Kcancolla	200	14.82	b c d e
Zona media	Kcancolla	200	14.66	b c d e f
Zona lago	Kcancolla	100	14.62	b c d e f g
Zona media	Blanca de Juli	300	14.40	c d e f g h
Zona media	Kcancolla	100	14.34	c d e f g h i
Zona lago	Blanca de Juli	300	14.26	c d e f g h i j
Zona media	Blanca de Juli	200	14.02	d e f g h i j k
Zona alta	Kcancolla	100	13.82	d e f g h i j k l
Zona lago	Pasankalla	200	13.68	d e f g h i j k l m
Zona media	Pasankalla	100	13.36	e f g h i j k l m n
Zona alta	Pasankalla	200	12.98	h i j k l m n o
Zona lago	Blanca de Juli	200	12.56	k l m n o p
Zona media	Blanca de Juli	100	12.36	l m n o p q
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	10.88	r

La figura 3, muestra las líneas de tendencia para la interacción entre las variedades de quinua - zonas y - dosis de hongo, sobre el diámetro del tallo de la quinua. Donde la variedad Kcancolla en la zona lago con la dosis 300 g de hongo, obtuvo 16.92 mm de diámetro de tallo siendo el mayor diámetro. Sin embargo, la quinua variedad Blanca de Juli en la zona alta con la dosis de 0.0 de hongo, tiene el promedio más bajo con 10.88 mm de diámetro de tallo de quinua.

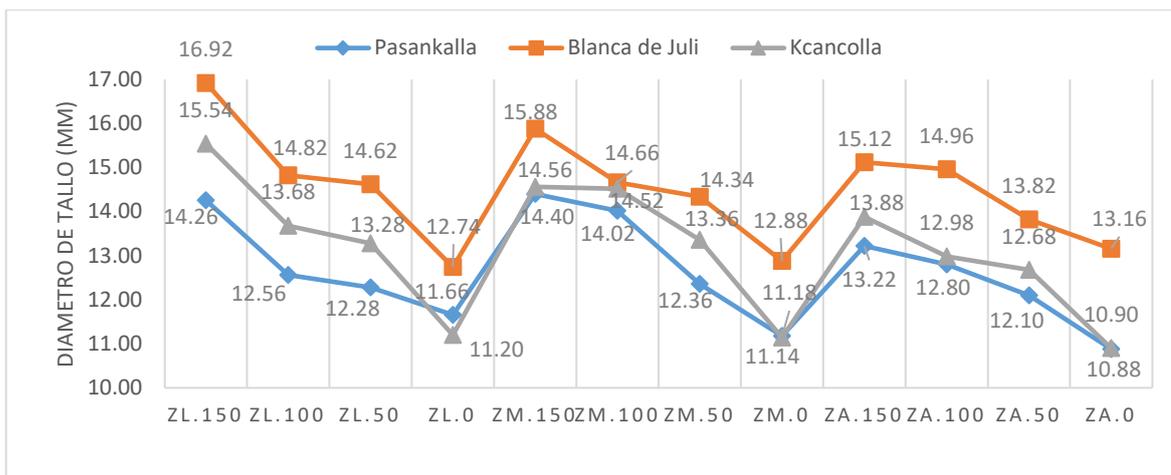


Figura 3. Interacción de las variedades de quinua por zonas y por dosis de hongo sobre el diámetro de tallo de la planta de quinua; Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

d. Inicio de floración de la quinua

El análisis de varianza para el inicio de floración de la quinua, (tabla 7), muestra que, en el análisis de número de repeticiones, no existe diferencia estadística significativa, en consecuencia, las características fisicoquímicas del suelo experimental no influyen en la fase de inicio de floración. Sin embargo, en las fuentes de variabilidad de zonas, dosis de hongo y variedades de quinua, existe diferencia estadística altamente significativa, lo que significa que las diferentes zonas, dosis de hongos y variedades de quinua, influyeron de manera diferente en el inicio de floración.

Asimismo, en la interacción de zona - dosis de hongo, se encontró diferencia estadística significativa, lo que indica que estos factores actúan de forma dependiente sobre el inicio de floración. El análisis de interacción de zona - variedad de quinua, existe diferencia estadística significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre el inicio de floración. Asimismo, en la interacción dosis de hongo - variedad de quinua, se encontró diferencia estadística significativa, lo que indica que estos factores actúan de forma dependiente sobre el inicio de floración, Además, se encontró diferencia estadística altamente significativa en la interacción de zona - dosis de hongo por variedades quinua, lo cual explica que estos factores actúan de forma dependiente sobre el inicio de floración de la quinua. El coeficiente de variabilidad es de 1.29%, que se encuentra en el rango aceptable.

Tabla 7

Análisis de varianza para inicio de floración del cultivo de quinua.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Zona	2	150.8111	75.4056	59.88	3.07	4.79	**
Hongo	3	885.9111	295.3037	234.5	2.68	3.95	**
Variedad	2	267.2111	133.6056	106.1	3.07	4.79	**
Zona*Hongo	6	19.8556	3.3093	2.63	2.18	2.96	*
Zona*Variedad	4	14.0889	3.5222	2.8	2.45	3.48	*
Hongo*Variedad	6	21.3222	3.5537	2.82	2.18	2.96	*
Zona*Hongo*Var	12	38.7111	3.2259	2.56	1.83	2.34	**
Error	140	176.3111	1.2594				
Total corregido	179	1583.9111					

C.V.= 1.29%

Media = 86.98

La prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos en interacción de zona - dosis de hongo - variedades quinua, en la fase de inicio de floración de la quinua, mostrada en la tabla 8, el tratamiento de zona alta con la dosis de 0.0 g de hongo de la variedad Blanca de Juli, es el más tardío en el inicio de floración con 92.80 días, cual es estadísticamente superior. Sin embargo, el tratamiento de la zona lago con la dosis 300 g de hongo en la variedad Kcancolla, son de floración prematura con 80.80 días.

Tabla 8

Resumen de la Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona por variedad y dosis de hongo, para el inicio de floración de la quinua.

Zona	Variedad	Dosis	Inicio de floración de la planta (Días)	
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	92.80	a
Zona alta	Pasankalla	0.0	91.80	a b
Zona media	Blanca de Juli	0.0	90.80	a b c
Zona alta	Blanca de Juli	100	89.80	b c d
Zona media	Blanca de Juli	100	89.40	b c d e
Zona lago	Blanca de Juli	100	89.20	b c d e f
Zona lago	Kcancolla	0.0	88.80	c d e f g
Zona alta	Kcancolla	100	88.40	c d e f g h
Zona alta	Kcancolla	200	87.60	d e f g h i
Zona alta	Pasankalla	100	86.80	e f g h i j
Zona alta	Blanca de Juli	300	86.20	g h i j k
Zona media	Blanca de Juli	300	86.00	g h i j k l
Zona lago	Kcancolla	200	85.60	h i j k l m
Zona lago	Blanca de Juli	300	85.40	i j k l m n
Zona alta	Pasankalla	300	84.00	j k l m n o
Zona media	Pasankalla	200	83.40	k l m n o p
Zona lago	Kcancolla	300	80.80	p

En la figura 4, se observan las líneas de tendencia para la interacción entre las variedades de quinua - zonas y - dosis de hongo, sobre el inicio de floración de la quinua. Donde la variedad Blanca de Juli en la zona alta con la dosis de 0.0 g de hongo, son de inicio de floración tardía con 92.80 días. Sin embargo, la variedad Kcancolla en la zona lago con la dosis 300 g de hongo, presentó un inicio de floración a los 80.80 días, promedio.

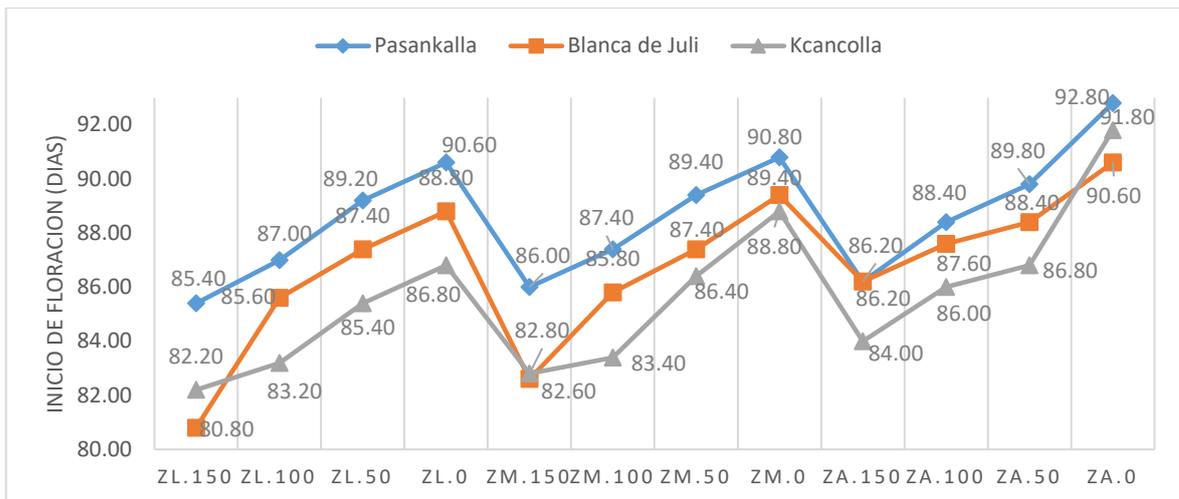


Figura 4. Interacción de las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo en la fase inicio de floración de la quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

e. Madurez de la planta

El análisis de varianza para la madurez de la planta de quinua, (tabla 9), muestra que, en la variable de número de repeticiones, no existe diferencia estadística significativa, en consecuencia, las características físico químicas del suelo experimental no influyeron de manera significativa en esta fase. Sin embargo, en las variables de zonas, dosis de hongo y variedades de quinua, existe diferencia estadística altamente significativa, lo que significa que la aplicación de hongos micorrízicos influyeron de forma directa en la fase de madurez de la planta en las diferentes zonas, dosis de hongos y variedades de quinua. La interacción de zona por dosis de hongo, se encontró diferencia estadística significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre la madurez de la planta.

La interacción de zona por variedad de quinua, se encontró diferencia estadística significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre la madurez de la planta. En la interacción dosis de hongo por variedad de quinua, se encontró diferencia estadística altamente significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre la madurez de la planta, Además, se encontró diferencia estadística significativa en la interacción de zona - dosis de hongo y variedades de quinua, lo cual explica que estos factores actúan de forma dependiente sobre la madurez de la planta de la quinua. El coeficiente de variabilidad es de 0.56%, que se encuentra en el rango aceptable.

Tabla 9

Análisis de varianza para la maduración de la planta de la quinua.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Zona	2	19.3444	9.6722	10.08	3.07	4.79	**
Hongo	3	3002.2444	1000.7481	1043	2.68	3.95	**
Variedad	2	73.8111	36.9056	38.45	3.07	4.79	**
Zona*Hongo	6	16.7889	2.7981	2.91	2.18	2.96	*
Zona*Variedad	4	13.3556	3.3389	3.48	2.45	3.48	*
Hongo*Variedad	6	17.5222	2.9204	3.04	2.18	2.96	**
Zona*Hongo*Var	12	23.0444	1.9204	2	1.83	2.34	*
Error	140	134.3889	0.9599				
Total corregido	179	3304.1111					

C.V.= 0.56%

Media = 174.72

La prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para los diferentes tratamientos en interacción de zona - dosis de hongo - variedades quinua, en la fase madurez de la planta de la quinua, (tabla 10), se muestra que el tratamiento de zona alta más, variedad Blanca de Juli con la dosis de 0.0 g de hongo presenta el mayor número de días antes de llegar a la fase de madurez fisiológica o senectud de la planta con 181.80 días, cual es estadísticamente superior. Sin embargo, el tratamiento de la zona lago en la variedad Kcancolla con la dosis 300 g de hongo, llegó a la fase de madurez fisiológica o senectud a los 168.20 días en promedio.

Tabla 10

Resumen de la prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona por variedad y dosis de hongo, para la maduración de la quinua.

Zona	Variedad	Dosis	Maduración de la planta (Días)
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	181.80 a
Zona media	Blanca de Juli	0.0	181.00 a b
Zona alta	Pasankalla	0.0	180.20 a b c
Zona lago	Kcancolla	0.0	180.00 a b c d
Zona media	Pasankalla	0.0	179.40 a b c d e
Zona lago	Pasankalla	0.0	179.00 b c d e f
Zona alta	Kcancolla	100	177.80 c d e f g
Zona lago	Blanca de Juli	100	177.60 d e f g h
Zona lago	Kcancolla	100	177.20 e f g h i
Zona alta	Pasankalla	100	175.20 h i j
Zona media	Pasankalla	100	175.00 i j k
Zona lago	Blanca de Juli	200	173.00 j k l
Zona media	Blanca de Juli	200	172.60 k l m
Zona alta	Blanca de Juli	200	172.20 l m n
Zona lago	Kcancolla	200	172.00 l m n o
Zona lago	Pasankalla	200	171.60 l m n o p
Zona alta	Pasankalla	200	171.20 l m n o p q
Zona alta	Blanca de Juli	300	170.40 m n o p q r
Zona lago	Kcancolla	300	168.20 r

En la figura 5, se muestran las líneas de tendencia para la interacción entre variedades de quinua - zonas - dosis de hongo, en la fase de maduración de la quinua. Donde la variedad Blanca de Juli en la zona alta con la dosis de 0.0 g de hongo, presenta el mayor número de días de maduración o senectud con 181.80 días, siendo el tratamiento más largo en el tiempo. Sin embargo, la variedad Kcancolla en la zona lago con la dosis 300 de Hongo, presenta una senectud precoz con 168.20 días promedio.

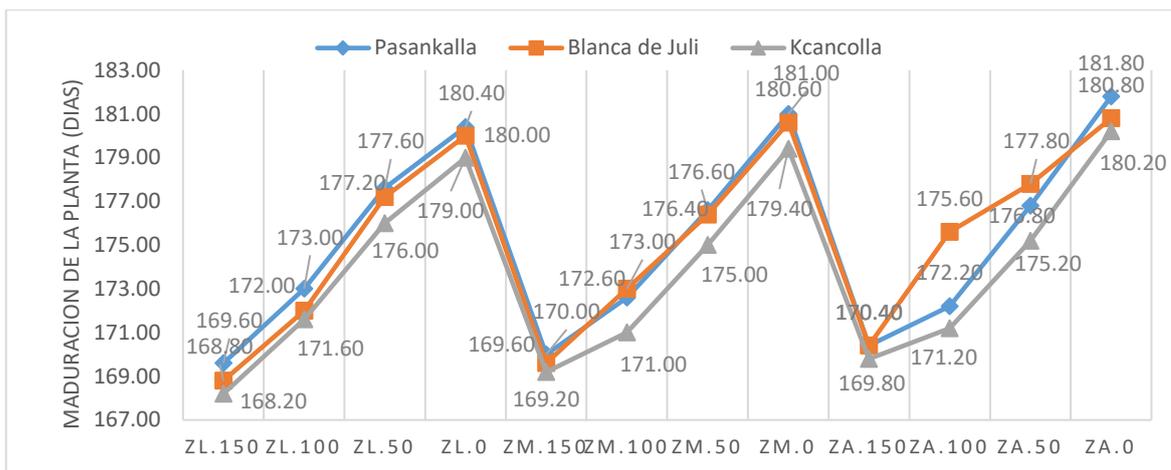


Figura 5. Interacción de las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo en la fase madurez de la quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

4.2 Rendimiento del cultivo de quinua

a. Rendimiento de grano por panoja

El análisis de varianza para el rendimiento de grano por panoja, (tabla 11), en la variable de número de repeticiones, no existe diferencia estadística significativa, en consecuencia, las características físico químicas del suelo no influyeron significativamente en el rendimiento del cultivo de la quinua. Sin embargo, en la variable de zonas, dosis de hongo y variedades de quinua, existe diferencia estadística altamente significativa, lo que indica que, las diferentes zonas, dosis de hongos y variedades de quinua, influyeron de manera diferente en el rendimiento de grano por panoja.

La interacción de zona - dosis de hongo, se encontró diferencia estadística significativa, mostrando que estos factores actúan de forma dependiente sobre el rendimiento de grano por panoja. En la interacción de zona - variedad de quinua, no se encontró diferencia estadística significativa, lo que indica que estos factores actúan de forma independiente sobre el rendimiento de grano por panoja. La interacción dosis de hongo - variedad de quinua, se encontró diferencia estadística altamente significativa, lo que indica que estos factores actúan de forma dependiente sobre el rendimiento de grano por panoja. Asimismo, se determinó diferencia estadística altamente significativa en la interacción de zona - dosis de hongo - variedades quinua, lo cual explica que estos factores actúan de forma

dependiente sobre el rendimiento de grano por panoja. El coeficiente de variabilidad es de 5.32%, que se encuentra en el rango aceptable.

Tabla 11

Análisis de varianza para el rendimiento de grano por panoja.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Zona	2	37.1311	18.5656	29.21	3.07	4.79	**
Hongo	3	945.5487	315.1829	495.9	2.68	3.95	**
Variedad	2	108.5616	54.2808	85.41	3.07	4.79	**
Zona*Hongo	6	9.7918	1.6320	2.57	2.18	2.96	*
Hongo*Variedad	6	34.4576	5.7429	9.04	2.18	2.96	**
Zona*Hongo*Var	12	21.4367	1.7864	2.81	1.83	2.34	**
Error	140	88.9741	0.6355				
Total corregido	179	1250.7823					

C.V.= 5.32%

Media = 15.99

La prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos en la interacción de: zona - dosis de hongo - variedades quinua, en el rendimiento de grano por panoja, mostrada en la tabla 12, los tratamientos de la zona lago en la variedad Kcancolla con la dosis 300 g de hongo; zona media, variedad Kcancolla con la dosis de 300 g de hongo y la zona alta en la variedad Kcancolla con la dosis 300 g de hongo, son los de mayor rendimiento de grano por panoja, obtuvieron con 20.13, 18.50, 18.36 gramos de grano por panoja respectivamente, siendo estadísticamente similares y superiores a los demás tratamientos. Finalmente, el tratamiento de zona media en la variedad Pasankalla con la dosis de 0.0 g de hongo, con 10.65 g siendo el menor rendimiento de grano por panoja. Lo que indica que el efecto del hongo micorrízico vesículo arbuscular es muy notable en las dosis de 300 g de HMVA/planta, en las zonas lago y zona media, frente al cultivo testigo.

Tabla 12

Resumen de la prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona por variedad y dosis de hongo, para el rendimiento de grano por panoja.

Zona	Variedad	Dosis	Rendimiento de grano por panoja (gr)	
Zona lago	Kcancolla	300	20.13	a
Zona media	Kcancolla	300	18.50	a b
Zona lago	Pasankalla	300	18.02	b c
Zona media	Pasankalla	300	17.82	b c d
Zona lago	Kcancolla	200	17.53	b c d e
Zona lago	Pasankalla	200	17.33	b c d e f
Zona media	Kcancolla	200	17.03	b c d e f g
Zona lago	Blanca de Juli	200	16.78	b c d e f g h
Zona media	Pasankalla	200	16.27	c d e f g h i
Zona lago	Pasankalla	100	15.89	d e f g h i j
Zona alta	Pasankalla	200	15.12	g h i j k
Zona alta	Pasankalla	100	14.56	i j k l
Zona alta	Blanca de Juli	200	14.07	j k l m
Zona media	Blanca de Juli	100	13.18	k l m n
Zona lago	Blanca de Juli	100	12.82	l m n o
Zona alta	Blanca de Juli	100	12.57	m n o p
Zona media	Pasankalla	0.0	10.65	p

En la figura 6, las líneas de tendencia para la interacción entre las variedades de quinua - zonas - dosis de hongo, analizadas en el rendimiento de grano por panoja. Donde la variedad Kcancolla en la zona lago con la dosis 300 g de hongo, obtuvo 20.13 g de grano por panoja, siendo el mejor rendimiento de todos los tratamientos. Por otro lado, el menor rendimiento de grano por panoja de quinua fue de la variedad Pasankalla en la zona media con la dosis de 0.0 de hongo, con 10.65 g de grano por panoja, cual fue el rendimiento promedio más bajo de los tratamientos.

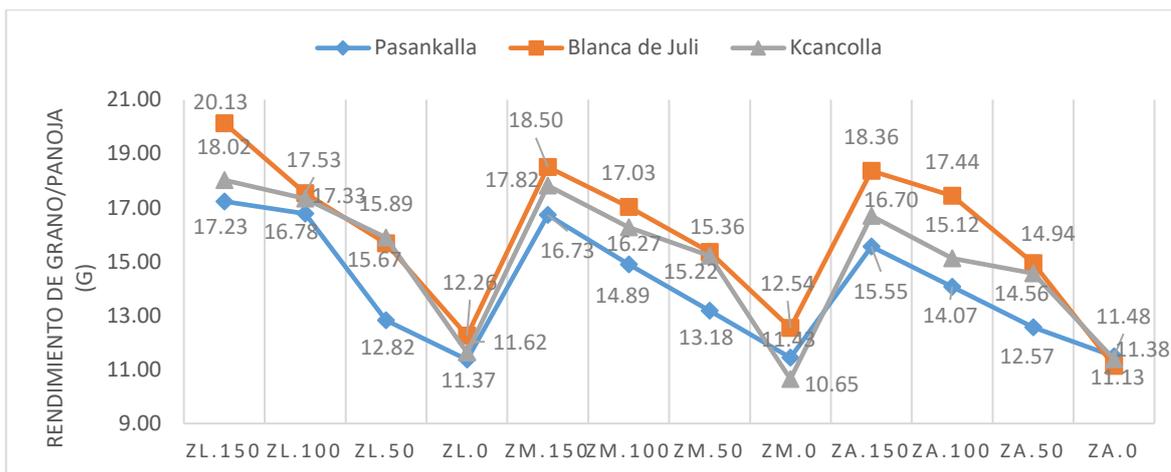


Figura 6. Interacción de las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo en el rendimiento de grano por panoja de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

b. Rendimiento del cultivo de quinua por hectárea

El análisis de varianza para el rendimiento de grano por hectárea, (tabla 13), en donde se observa que, en la fuente de variabilidad de número de repeticiones, no existe diferencia estadística significativa, en consecuencia, las características del suelo experimental fueron uniformes en el área experimental. En las fuentes de variabilidad de zonas, dosis de hongo y variedades de quinua, existe diferencia estadística altamente significativa, lo cual nos da a entender que las diferentes zonas, dosis de hongos y variedades de quinua, influyeron de manera diferente en el rendimiento de grano por hectárea.

En la interacción de zona por dosis de hongo, se encontró diferencia estadística altamente significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre el rendimiento de grano por hectárea. En la interacción de zona por variedad de quinua, no se encontró diferencia estadística significativa, indicando que estos factores actúan de forma independiente sobre el rendimiento de grano por hectárea. En la interacción dosis de hongo por variedad de quinua, se encontró diferencia estadística altamente significativa, indicando que estos factores actúan de forma dependiente sobre el rendimiento de grano por hectárea, Además, se encontró diferencia estadística altamente significativa en la interacción de zona por dosis de hongo por variedades quinua, lo cual explica que estos factores actúan de forma dependiente sobre el rendimiento de grano por hectárea de quinua. El coeficiente de variabilidad es de 4.98%, que se encuentra en el rango aceptable.

Tabla 13

Análisis de varianza para el rendimiento de grano de quinua por hectárea.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Zona	2	303754.811	151877.406	36.13			**
Hongo	3	3290557.17	1096852.391	260.95	3.07	4.79	**
Variedad	2	594261.644	297130.822	70.69	2.68	3.95	**
Zona*Hongo	6	109777.678	18296.28	4.35	3.07	4.79	**
Hongo*Variedad	6	82791.111	13798.519	3.28	2.18	2.96	**
Zona*Hongo*Var	12	228039.489	19003.291	4.52	2.18	2.96	**
Error	140	588453.378	4203.238		1.83	2.34	**
Total corregido	179	5255503.39					
C.V.= 4.98%		Media = 1301.094					

La prueba de significancia Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos en la interacción de zona por dosis de hongo por variedades quinua, para el rendimiento de grano por hectárea, el cual se muestra en la tabla 14, en donde se observa que los tratamientos zona lago más la variedad Blanca de Juli más la dosis 300 de hongo, zona lago más la variedad Blanca de Juli más la dosis 200 de hongo, zona media más la variedad Blanca de Juli más la dosis de 300 de hongo y la zona lago más la variedad Pasankalla más la dosis 300 de hongo, son los que mayor rendimiento de grano por hectárea, obtuvieron con 1670, 1553, 1530 y 1523 kg de grano por hectárea respectivamente, que son estadísticamente similares y superiores a los demás tratamientos. Y en último lugar se encuentra el tratamiento de zona alta más la variedad Kcancolla más la dosis de 0.0 de hongo, con 1052 kg/ha siendo el menor rendimiento de grano por hectárea de quinua.

Tabla 14

Resumen de la prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de la interacción de zona por variedad y dosis de hongo, para el rendimiento de grano por hectárea.

Zona	Variedad	Dosis	Rendimiento de grano por hectárea (kg/ha)	
Zona lago	Blanca de Juli	300	1670	a
Zona lago	Blanca de Juli	200	1553	a b
Zona media	Blanca de Juli	300	1530	a b c
Zona lago	Pasankalla	300	1523	a b c d
Zona media	Blanca de Juli	200	1503	b c d e
Zona alta	Kcancolla	200	1412	b c d e f
Zona alta	Blanca de Juli	300	1396	b c d e f g
Zona alta	Kcancolla	300	1390	c d e f g h
Zona media	Pasankalla	300	1373	c d e f g h i
Zona lago	Blanca de Juli	100	1367	d e f g h i j
Zona alta	Pasankalla	300	1355	e f g h i j k
Zona media	Blanca de Juli	100	1256	f g h i j k l
Zona media	Blanca de Juli	0.0	1216	i j k l m
Zona alta	Kcancolla	0.0	1052	n

En la figura 7, se observan las líneas de tendencia para la interacción entre las variedades de quinua por zonas y por dosis de hongo, sobre el rendimiento de grano por hectárea. Donde la variedad Blanca de Juli en la zona lago más la dosis 300 de hongo, consiguió 1670 kg de grano por hectárea, siendo el mejor rendimiento de todos los tratamientos. Y el menor rendimiento de grano por hectárea de quinua fue de la variedad Kcancolla en la zona alta más la dosis de 0.0 de hongo, con 1052 kg de grano por hectárea, cual fue el rendimiento promedio más bajo de los tratamientos.

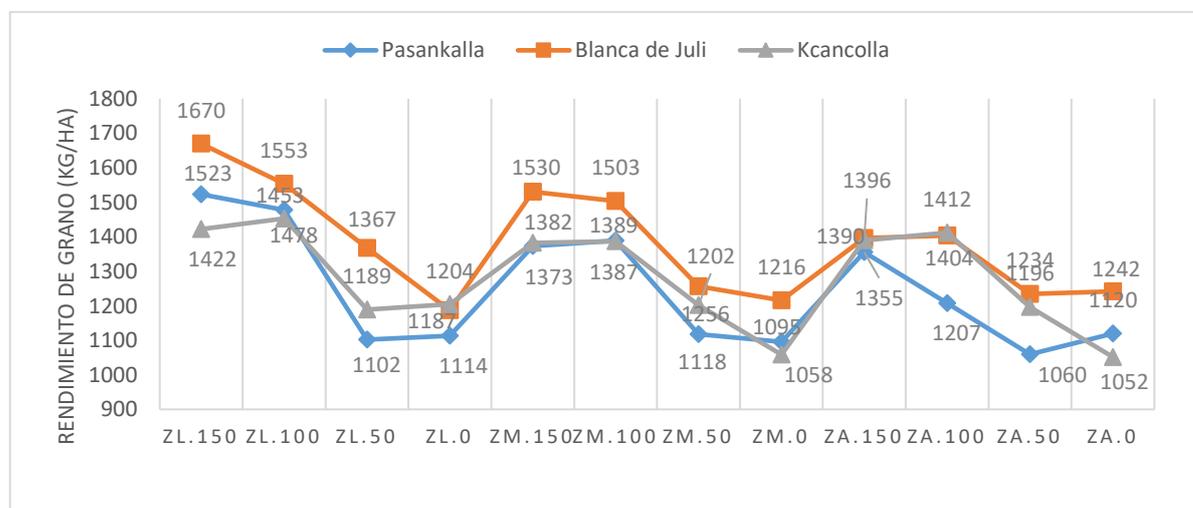


Figura 7. Interacción de las variedades de quinua por zonas y dosis de hongo sobre el rendimiento de grano por hectárea de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

4.3 Dosis óptima de HMVA, en el cultivo de quinua

Según el análisis de rendimiento del cultivo de quinua, aplicadas en las tres variedades de quinua, en tres zonas de estudio indica que, la mejor dosis aplicada es la de 300 g de HMVA/kg de semilla de quinua en la variedad Blanca de Juli, este desenvolvimiento al parecer tiene los índices de mayor rango en la zona Lago, sin embargo con la dosis de 200 g de HMVA, en la variedad de Pasankalla cultivada en la zona media, obtuvo un rendimiento superior al 25% respecto al cultivo testigo, lo que indica que la dosis ideal oscila en un rango de 200 a 250 g de HMVA/ kg de semilla de quinua.

Tabla 15

Porcentaje de incremento en el rendimiento del cultivo de quinua frente al cultivo testigo.

Zona	Variedad	% Rendimiento en relación al cultivo testigo		
		Dosis 300 g	Dosis 200 g	Dosis 100 g
Lago	Blanca de Juli	28.92	23.57	13.17
Medio	Blanca de Juli	20.52	19.10	3.18
Alto	Blanca de Juli	11.03	11.54	-0.65
Lago	Pasankalla	27.64	25.44	0.00
Medio	Pasankalla	20.25	21.17	2.06
Alto	Pasankalla	17.34	7.21	-5.66
Lago	Kcancolla	15.33	17.14	-1.26
Medio	Kcancolla	23.44	23.72	11.98
Alto	Kcancolla	24.32	25.50	12.04

En la figura 8, se observa el incremento en porcentajes del rendimiento del cultivo de quinua de tres variedades, aplicada con diferentes dosis, en diferentes zonas del distrito de Ilave. Los resultados indican que la variedad Blanca de Juli y la variedad Pasankalla muestran incrementos sustanciales en la zona Lago y zona Media, la diferencia máxima es de un 5%, en ambas dosis de 200 y 300 g de HMVA/kg de semilla de quinua. Asimismo, podemos observar que la variedad Kcancolla tuvo mayor rendimiento en la zona alta y zona media del distrito de Ilave con la dosis de 200 g de HMVA/kg de semilla de quinua, con una diferencia promedio de 1% en ambas zonas y dos dosis de estudio de 200 y 300 g. Sin embargo, la dosis de 100g de HMVA/kg de semilla de quinua, no llegó a desenvolverse muy bien en las tres zonas de estudio.

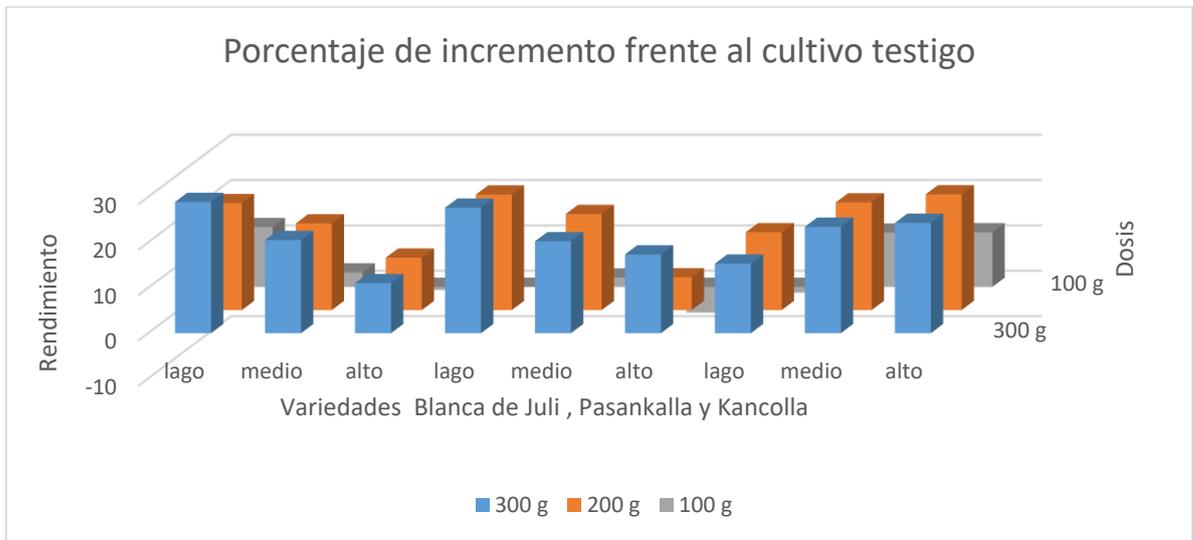


Figura 8. Porcentaje de incremento en el rendimiento frente al cultivo de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



CONCLUSIONES

El mejor rendimiento de las tres variedades de quinua lo presentó la variedad Blanca de Juli, en la zona Lago, con 1,670 kg de quinua /ha, con la dosis 300 g de HMVA/kg de semilla; Sin embargo, el mayor rendimiento de la variedad Pasankalla es de 1,523 kg de quinua/ha, zona lago, dosis 300 g; asimismo, el mayor rendimiento de la variedad Kcancolla es de 1,453 kg/ha, zona lago, dosis 200 g.

La dosis óptima para el mejor rendimiento del cultivo de quinua en las tres variedades (Blanca de Juli, Kcancolla y Pasankalla), es de 300 g de hongo micorrízicos vesículo arbusculares por kilogramo de semilla de quinua.



RECOMENDACIONES

Continuar con trabajos similares en diferentes localidades y con diferentes cultivos andinos y validar los resultados obtenidos en el rendimiento del cultivo de quinua, generando información necesaria que determine el dinamismo de los hongos micorrízicos. asimismo, fomentar e incentivar la utilización de nuevas tecnologías que beneficien la recuperación de los suelos de forma natural sin la utilización de fertilizantes de origen químico.

Aplicar dosis mayores a $\frac{1}{4}$ de kg de hongos micorrízicos vesículo arbusculares por kilogramos de semilla de quinua, asimismo, investigar diferentes tipos de microorganismos simbióticos que mejoren la capacidad de absorción de nutrientes en los cultivos andinos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agnati, L. F., Guidolin, D., Marcoli, M., & Maura, G. (2018). Inner speech mis-exaptation can cause the “Hubris” that speeds up ecosystem over-exploitation. *Neurology Psychiatry and Brain Research*, 30(March), 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.npbr.2018.05.006>
- Alandia, G., Rodriguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26(August), 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- Amiryousefi, M., Tadayon, M. R., & Ebrahimi, R. (2021). Energy and exergy efficiencies assessment for two Quinoa cultivars productions. *Energy Reports*, 7, 2324–2331. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.04.043>
- Arocena, J. M., Velde, B., & Robertson, S. J. (2012). Weathering of biotite in the presence of arbuscular mycorrhizae in selected agricultural crops. *Applied Clay Science*, 64, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.06.013>
- Aslam, R. A., Shrestha, S., & Pandey, V. P. (2018). Groundwater vulnerability to climate change: A review of the assessment methodology. *Science of the Total Environment*, 612, 853–875. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.237>
- Baeza-Guzmán, Y., Medel-Ortiz, R., & Garibay-Orijel, R. (2017). Morphologic and genetic characterization of the ectomycorrhizal fungi associated to *Pinus hartwegii* forests from Cofre de Perote National Park, Veracruz. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(1), 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.027>
- Barman, A., Gohain, D., Bora, U., & Tamuli, R. (2018). Phospholipases play multiple cellular roles including growth, stress tolerance, sexual development, and virulence in fungi. *Microbiological Research*, 209(December 2017), 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.12.012>

- Basu, S., Rabara, R. C., & Negi, S. (2018). AMF: The future prospect for sustainable agriculture. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *102*, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.11.007>
- Besharati, J., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., Dehestani Ardakani, M., & Ghorbanpour, M. (2021). Changes in growth and quality performance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to soil amendments with hydrogel and compost under drought stress. *South African Journal of Botany*, *000*. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.018>
- Bioversity International, FAO, PROINPA, I. y F. (2013). *Descriptorios para Quinoa y sus parientes silvestres*.
- Boldt-Burisch, K., Naeth, M. A., Schneider, U., Schneider, B., & Hüttl, R. F. (2018). Plant growth and arbuscular mycorrhizae development in oil sands processing by-products. *Science of the Total Environment*, *621*, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.188>
- Chaharsooghi, S. K., Honarvar, M., & Modarres, M. (2011). A multi-stage stochastic programming model for dynamic pricing and lead time decisions in multi-class make-to-order firm. *Scientia Iranica*, *18(3 E)*, 711–721. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.018>
- Cosme, M., Fernández, I., Van der Heijden, M. G. A., & Pieterse, C. M. J. (2018). Non-Mycorrhizal Plants: The Exceptions that Prove the Rule. *Trends in Plant Science*, *23(7)*, 577–587. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.04.004>
- Covacevich, F., Castellari, C. C., & Echeverría, H. E. (2014). Physical and chemical methods for eliminating propagules of indigenous mycorrhizal fungi from soil samples. *Revista Argentina de Microbiología*, *46(3)*, 231–236. [https://doi.org/10.1016/s0325-7541\(14\)70077-x](https://doi.org/10.1016/s0325-7541(14)70077-x)

- Dai, Y., Sun, Q., Wang, W., Lu, L., Liu, M., Li, J., Yang, S., Sun, Y., Zhang, K., Xu, J., Zheng, W., Hu, Z., Yang, Y., Gao, Y., Chen, Y., Zhang, X., Gao, F., & Zhang, Y. (2018). Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. *Chemosphere*.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.179>
- Dhananjayan, V., & Ravichandran, B. (2018). Occupational health risk of farmers exposed to pesticides in agricultural activities. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.005>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., González, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C., & Balzarini, M. (2008). *Estadística para las ciencias agropecuarias*. 372.
- Diallo, A. T., Samb, P. I., & Ducouso, M. (1999). Arbuscular mycorrhizal fungi in the semi-arid areas of Senegal. *European Journal of Soil Biology*, 35(2), 65–75.
[https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(99\)00110-7](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(99)00110-7)
- Díaz-Ordaz, N. H., Pérez, N., & Toledo, J. (2010). Patogenicidad de tres cepas de hongos entomopatógenos a adultos de *Anastrepha obliqua* (Macquart) (Diptera: Tephritidae) en condiciones de laboratorio. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 26(3), 481–494. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.263796>
- El, E. (2005). Requisitos Y Recomendaciones Para La Aplicación De Buenas Prácticas Agrícolas (Bpa) Para La Producción En El Cultivo De Quinua. *Senasa*, 1–23.
- Esmeralda, E., Hongos, I. D. E., Arbusculares, M., Fosfatada, Y. F., Quiñones-aguilar, E. E., & Hernández-acosta, E. (2012). Interacción De Hongos Micorrízicos Arbusculares Y Fertilización Fosfatada En Papaya. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 165–176.
- Garcia, K., Doidy, J., Zimmermann, S. D., Wipf, D., & Courty, P. E. (2016). Take a Trip Through the Plant and Fungal Transportome of Mycorrhiza. *Trends in Plant Science*,

- 21(11), 937–950. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.07.010>
- Garg, N., & Cheema, A. (2021). Relative roles of Arbuscular Mycorrhizae in establishing a correlation between soil properties, carbohydrate utilization and yield in *Cicer arietinum* L. under As stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207(August 2020), 111196. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111196>
- Garibay-Orijel, R., Morales-Marañón, E., Domínguez-Gutiérrez, M., & Flores-García, A. (2013). Caracterización morfológica y genética de las ectomicorrizas formadas entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de esporas en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(1), 153–169. <https://doi.org/10.7550/rmb.29839>
- Gianinazzi-Pearson, V., Séjalon-Delmas, N., Genre, A., Jeandroz, S., & Bonfante, P. (2007). Plants and Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Cues and Communication in the Early Steps of Symbiotic Interactions. *Advances in Botanical Research*, 46(07), 181–219. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(07\)46005-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(07)46005-0)
- Heil, N., Bravo, K., Montoya, A., Robledo, S., & Osorio, E. (2017). Wound healing activity of *Ullucus tuberosus*, an Andean tuber crop. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(6), 538–543. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.05.007>
- Henschke, N., Blain, S., Cherel, Y., Cotte, C., Espinasse, B., Hunt, B. P. V., & Pakhomov, E. A. (2021). Population demographics and growth rate of *Salpa thompsoni* on the Kerguelen Plateau. *Journal of Marine Systems*, 214(April 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103489>
- Hernández Rodríguez, J. (2015). La quinua, una opción para la nutrición del paciente con diabetes mellitus. *Revista Cubana de Endocrinología*, 26(3), 0–0.
- Hoysted, G. A., Kowal, J., Jacob, A., Rimington, W. R., Duckett, J. G., Pressel, S., Orchard, S., Ryan, M. H., Field, K. J., & Bidartondo, M. I. (2018). A mycorrhizal

- revolution. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 1–6.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.12.004>
- Hršelová, H., Vejsadová, H., Příkryl, Z., Váchová, J., Vančura, V., & Vít, A. (1989). Effect of Inoculation with Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth of Strawberries. *Developments in Soil Science*, 18(C), 109–114.
[https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70203-4](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70203-4)
- INDECOPI. (2013). *Guia informativa de Productos Bandera del Perú*. 1–48.
- Jiao, W., Chen, W., Chang, A. C., & Page, A. L. (2012). Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: A review. *Environmental Pollution*, 168, 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.052>
- Katsini, L., Bhonsale, S., Akkermans, S., Roufou, S., Griffin, S., Valdramidis, V., Misiou, O., Koutsoumanis, K., André, C., López, M., Polanska, M., & Impe, J. F. M. Van. (2021). *Trends in Food Science & Technology Quantitative methods to predict the effect of climate change on microbial food safety : A needs analysis*. July.
- Kaushik, M. S., Dash, N. P., Kumar, A., Abraham, G., & Singh, P. K. (2018). Tolerance of wetland rice field's cyanobacteria to agrochemicals in cultural condition. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13, 236–243.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.12.016>
- Khalediyan, N., Weisany, W., & Schenk, P. M. (2021). Arbuscular mycorrhizae and rhizobacteria improve growth, nutritional status and essential oil production in *Ocimum basilicum* and *Satureja hortensis*. *Industrial Crops and Products*, 160(October), 113163. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113163>
- KOUR, D., RANA, K. L., KAUR, T., YADAV, N., YADAV, A. N., KUMAR, M., KUMAR, V., DHALIWAL, H. S., & SAXENA, A. K. (2021). Biodiversity, current developments and potential biotechnological applications of phosphorus-

- solubilizing and -mobilizing microbes: A review. *Pedosphere*, 31(1), 43–75.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60057-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60057-1)
- Kumar Yadav, K., Gupta, N., Kumar, A., Reece, L. M., Singh, N., Rezania, S., & Ahmad Khan, S. (2018). Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. *Ecological Engineering*, 120(November 2017), 274–298.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.039>
- Laurente Blanco, L. F., & Mamani Huanacuni, A. (2020). Modelamiento de la producción de quinua aplicando ARIMA en Puno-Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 19(19), 205–230.
- Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131–139.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104>
- Mancini, M. S., Galli, A., Coscieme, L., Niccolucci, V., Lin, D., Pulselli, F. M., Bastianoni, S., & Marchettini, N. (2018). Exploring ecosystem services assessment through Ecological Footprint accounting. *Ecosystem Services*, 30, 228–235.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.010>
- MCKay, C., & Scharman, E. J. (2015). Intentional and inadvertent chemical contamination of food, water, and medication. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 33(1), 153–177. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2014.09.011>
- Meena, V. S., Maurya, B. R., & Verma, J. P. (2014). Does a rhizospheric microorganism enhance K+availability in agricultural soils? *Microbiological Research*, 169(5–6), 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.003>
- Molina, R. I. G. (2015). Venturas y desventuras de las actuales integraciones latinoamericanas. *Economía Informa*, 392, 65–95.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2015.05.013>
- Moreira, H., Pereira, S. I. A., Vega, A., Castro, P. M. L., & Marques, A. P. G. C. (2020). Synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria benefit maize growth under increasing soil salinity. *Journal of Environmental Management*, 257(December 2019), 109982. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109982>
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., & Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32(2), 429–448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
- Neeman, N., Servis, J. A., & Naro-Maciel, E. (2017). Conservation issues: Oceanic ecosystems. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (Vols. 1–5). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09198-9>
- Nowak, V., Du, J., & Charrondière, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- O’Sullivan, J. N. (2020). The social and environmental influences of population growth rate and demographic pressure deserve greater attention in ecological economics. *Ecological Economics*, 172(February), 106648. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106648>
- Pel, R., Dupin, S., Schat, H., Ellers, J., Kiers, E. T., & van Straalen, N. M. (2018). Growth benefits provided by different arbuscular mycorrhizal fungi to *Plantago lanceolata* depend on the form of available phosphorus. *European Journal of Soil Biology*, 88(July), 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.07.004>
- Pereira, P., Bogunovic, I., Munoz-Rojas, M., & Brevik, E. C. (2017). Soil ecosystem

- services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003>
- Perissi, I., Bardi, U., El Asmar, T., & Lavacchi, A. (2017). Dynamic patterns of overexploitation in fisheries. *Ecological Modelling*, 359, 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.06.009>
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2018). World Human Population Problems ☆. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (Issue September 2014). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09303-4>
- Rica, U. D. C., Rica, C., Sostenible, M., Broca, D. E. L. A., Café, D. E. L., Poda, M., Del, S., En, C., Rica, C., & Rojas, M. (2012). *Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43625500006*.
- Rojas, W., Alandia, G., Irigoyen, J., Blajos, J., & Santivañez, T. (2011). La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. *Oficina Regional Para America Latina y El Caribe, FAO*, 37, 66. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.010>
- Ruales, J., & Nair, B. M. (1993). Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Food Chemistry*, 48(2), 131–136. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(93\)90047-J](https://doi.org/10.1016/0308-8146(93)90047-J)
- Sánchez Castañeda, J. (2017). Mercado de productos agrícolas ecológicos en Colombia. *Suma de Negocios*, 8(18), 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.10.001>
- Shabala, S., Hariadi, Y., & Jacobsen, S. E. (2013). Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na⁺ loading and stomatal density. *Journal of Plant Physiology*, 170(10), 906–914. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.014>
- Shahid, N., Becker, J. M., Krauss, M., Brack, W., & Liess, M. (2018). Adaptation of

- Gammarus pulex to agricultural insecticide contamination in streams. *Science of the Total Environment*, 621, 479–485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.220>
- Singh, J. S., Pandey, V. C., & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(3–4), 339–353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
- Spagnoletti, F. N., di Pardo, A. F., Tobar Gómez, N. E., & Chiocchio, V. M. (2013). Las micorrizas arbusculares y Rhizobium: Una simbiosis dual de interés. *Revista Argentina de Microbiología*, 45(2), 131–132. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(13\)70012-9](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(13)70012-9)
- Strullu-Derrien, C. (2018). Fossil filamentous microorganisms associated with plants in early terrestrial environments. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.04.001>
- Tamm, O., Maasikamäe, S., Padari, A., & Tamm, T. (2018). Modelling the effects of land use and climate change on the water resources in the eastern Baltic Sea region using the SWAT model. *Catena*, 167(June 2017), 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.029>
- Uzoh, I. M., & Babalola, O. O. (2018). Rhizosphere biodiversity as a premise for application in bio-economy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 265(May), 524–534. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.003>
- Vargas Aguirre, C. F., Rivera Páez, F. A., & Escobar Vargas, S. (2018). Effect of arbuscular mycorrhizae and mercury on *Lactuca sativa* (Asteraceae) seedling morpho—histology. *Environmental and Experimental Botany*, 156, 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.09.005>
- Veresoglou, S. D., Chen, B., & Rillig, M. C. (2012). Arbuscular mycorrhiza and soil

- nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 53–62.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.018>
- Vinichuk, M., Mårtensson, A., Ericsson, T., & Rosén, K. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on ¹³⁷Cs uptake by plants grown on different soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, 115, 151–156.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.08.004>
- Xxi, B. S. (n.d.). *Biofabrica siglo xxi*. 01 55, 1–2.
- Yang, W., Cheng, P., Adams, C. A., Zhang, S., Sun, Y., Yu, H., & Wang, F. (2021). Effects of microplastics on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in a soil spiked with ZnO nanoparticles. *Soil Biology and Biochemistry*, 155(August 2020), 108179. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108179>
- Yu, H., Guchait, P., Achyldurdyeva, J., & Paşamehmetoğlu, A. (2021). A multilevel investigation of the leadership factors on food safety promotive and prohibitive voices through food safety consciousness. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 47(April), 343–352. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2021.04.007>
- Zare, E. N., Motahari, A., & Sillanpää, M. (2018). Nanoadsorbents based on conducting polymer nanocomposites with main focus on polyaniline and its derivatives for removal of heavy metal ions/dyes: A review. *Environmental Research*, 162(October 2017), 173–195. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.12.025>
- Zhai, S., Wu, Y., Xu, C., Chen, W., Feng, J., Zheng, Q., Meng, Y., & Yang, H. (2021). Symbiotic soil fungi suppress N₂O emissions but facilitate nitrogen remobilization to grains in sandy but not clay soils under organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 167(October 2020), 104012. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104012>
- Zhang, K., & Chui, T. F. M. (2019). Linking hydrological and bioecological benefits of green infrastructures across spatial scales – A literature review. *Science of the Total*



Environment, 646, 1219–1231. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.355>

Zhang, T., Sun, Y., Shi, Z., & Feng, G. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi can accelerate the restoration of degraded spring grassland in Central Asia. *Rangeland Ecology and Management*, 65(4), 426–432. <https://doi.org/10.2111/REM-D-11-00016.1>



ANEXOS

Anexo 1 Resultado de analisis de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



ANALISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS

PROCEDENCIA : Zona Lago (C1, C2); Zona Media (C3, C4); Zona Alta (C5)
INTERESADO : Juan Carlos Luna Quecaño
MOTIVO : Analisis de Fertilidad
MUESTREO : 11/12/2020
ANÁLISIS : 14/12/2020
LABORATORIO : Agua y Suelo FCA – UNA

# ORD	CLA DE CAMPO	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO ₃ ²⁻ %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
01	Villa Sicata	50	12	38	Franco arenoso	0.00	1.95	0.13
02	C.P. Sulcacatura	48	22	30	Franco arcillo arenoso	0.00	2.80	0.15
03	C.P. Chilacollo	12	46	44	Franco arcilloso	0.00	5.90	0.19
04	C.P. Laccollo Sejjollo	14	44	42	Franco arcilloso	0.00	4.70	0.11
05	C.P. Chijichaya	50	20	30	Franco arcillo arenoso	0.00	3.15	0.10

# ORD	pH	C.E. mS/cm	C.E. (e) mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CACIONES CAMBIABLES					CIC me/100 g	S.B. %
				P ppm	K ppm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺		
01	7.68	0.68	3.40	7.40	80	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC
02	5.74	0.06	0.30	8.30	88	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC
03	6.80	0.41	2.05	15.10	260	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC
04	7.16	0.10	0.50	11.30	180	NC	NCC	NC	NC	0.00	NC	NC
05	6.20	0.17	0.85	9.10	90	NC	NC	NC	NC	0.00	NC	NC

FArA = Franco arcillo arenoso
Ar = Arcilloso
FArA = Franco arcillo arenoso
FA = Franco Arenoso
CIC= Capacidad Intercambio Cationico
N = Nitrógeno total
K⁺ = Potasio cambiante
A= Arena
Ca²⁺= Calcio cambiante
Na⁺= Sodio cambiante
CO₃²⁻ = Carbonatos
me = miliequivalente.

FAr = Franco arcilloso
M.O.=Materia orgánica
P = Fósforo disponible
K = Potasio disponible
C.E. = Conductividad eléctrica
SB = Saturación de bases
Mg²⁺ = Magnesio cambiante
mS/cm = milisiemens por centimetro
C.E. (e) = Conductividad eléctrica del extracto
Al³⁺ = Aluminio cambiante
NC. = No corresponde



UNA
PUNO

Firmado digitalmente por CANAZA
MAMANI Daniel FAU 20145496170
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.12.2020 22:07:24 -05:00

Figura 9. Resultado de análisis de suelos emitida por el laboratorio de Aguas y Suelos de la UNA PUNO, campaña agrícola 2019 -2020.

Anexo 2 Resultado de la comparación múltiple de acuerdo con el criterio de Tukey

Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para la fase de emergencia de la planta de quinua.

Zona	Variedad	Dosis	Emergencia de la planta (Días)		
Zona alta	Pasankalla	0.0	25.60	a	
Zona media	Pasankalla	0.0	24.60	a	b
Zona lago	Pasankalla	0.0	24.60	a	b
Zona alta	Pasankalla	100	24.00	a	b c
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	23.80	a	b c
Zona alta	Salcedo Inia	0.0	23.60	a	b c
Zona media	Pasankalla	100	23.40	a	b c d
Zona media	Blanca de Juli	0.0	22.40	b	c d e
Zona media	Salcedo Inia	0.0	22.40	b	c d e
Zona alta	Pasankalla	200	22.20	b	c d e
Zona lago	Salcedo Inia	0.0	22.00	b	c d e f
Zona lago	Pasankalla	100	21.80	c	d e f g
Zona lago	Blanca de Juli	0.0	21.60	c	d e f g h
Zona alta	Salcedo Inia	100	21.40	c	d e f g h i
Zona alta	Blanca de Juli	100	20.80	d	e f g h i j
Zona media	Pasankalla	200	20.80	d	e f g h i j
Zona lago	Pasankalla	200	20.80	d	e f g h i j
Zona alta	Salcedo Inia	200	20.60	e	f g h i j k
Zona media	Blanca de Juli	100	20.40	e	f g h i j k l
Zona media	Salcedo Inia	100	20.40	e	f g h i j k l
Zona lago	Salcedo Inia	100	20.40	e	f g h i j k l
Zona lago	Blanca de Juli	100	20.20	e	f g h i j k l
Zona alta	Blanca de Juli	200	19.40	f	g h i j k l m
Zona alta	Salcedo Inia	300	19.20	g	h i j k l m
Zona alta	Pasankalla	300	19.00	h	i j k l m n
Zona media	Salcedo Inia	200	18.80	i	j k l m n
Zona media	Pasankalla	250	18.60	j	k l m n
Zona lago	Salcedo Inia	200	18.60	j	k l m n
Zona media	Blanca de Juli	200	18.40	j	k l m n
Zona lago	Blanca de Juli	200	18.00	k	l m n o
Zona lago	Pasankalla	300	17.80	l	m n o
Zona alta	Blanca de Juli	300	17.20	m	n o
Zona media	Blanca de Juli	300	17.00	m	n o
Zona lago	Blanca de Juli	300	16.40	n	o p
Zona media	Salcedo Inia	300	15.60	o	p
Zona lago	Salcedo Inia	300	14.20	p	

Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para altura de planta

Zona	Variedad	Dosis	Altura de planta (cm)	
Zona lago	Salcedo Inia	300	157.80	a
Zona media	Salcedo Inia	300	154.00	a b
Zona lago	Blanca de Juli	300	150.40	a b c
Zona lago	Salcedo Inia	200	145.80	b c d
Zona lago	Pasankalla	300	145.20	c d
Zona lago	Blanca de Juli	200	145.00	c d
Zona media	Blanca de Juli	300	143.60	c d e
Zona media	Salcedo Inia	200	140.80	d e f
Zona alta	Blanca de Juli	300	140.20	d e f
Zona lago	Salcedo Inia	100	138.80	d e f g
Zona media	Pasankalla	300	136.60	e f g h
Zona alta	Salcedo Inia	200	136.00	e f g h i
Zona alta	Salcedo Inia	300	135.80	e f g h i
Zona media	Blanca de Juli	200	135.60	e f g h i j
Zona alta	Blanca de Juli	200	134.00	f g h i j k
Zona media	Salcedo Inia	100	133.20	f g h i j k
Zona lago	Blanca de Juli	100	131.20	g h i j k l
Zona alta	Salcedo Inia	100	130.80	g h i j k l
Zona lago	Salcedo Inia	0.0	130.40	h i j k l m
Zona lago	Pasankalla	200	130.40	h i j k l m
Zona alta	Pasankalla	300	128.20	i j k l m n
Zona media	Pasankalla	200	128.00	i j k l m n
Zona media	Salcedo Inia	0.0	127.40	j k l m n
Zona media	Blanca de Juli	100	127.40	j k l m n
Zona alta	Salcedo Inia	0.0	126.60	k l m n
Zona alta	Blanca de Juli	100	126.40	k l m n
Zona lago	Blanca de Juli	0.0	124.80	l m n
Zona media	Blanca de Juli	0.0	123.80	l m n o
Zona lago	Pasankalla	100	122.40	m n o p
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	121.60	n o p
Zona alta	Pasankalla	200	121.20	n o p
Zona lago	Pasankalla	0.0	115.60	o p q
Zona alta	Pasankalla	100	115.40	p q
Zona media	Pasankalla	100	114.40	p q
Zona media	Pasankalla	0.0	110.80	q
Zona alta	Pasankalla	0.0	110.00	q

Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para el diámetro de tallo

Zona	Variedad	Dosis		Diámetro de tallo (mm)
Zona lago	Salcedo Inia	300	16.92	a
Zona media	Salcedo Inia	300	15.88	a b
Zona lago	Pasankalla	300	15.54	a b c
Zona alta	Salcedo Inia	300	15.12	b c d
Zona alta	Salcedo Inia	200	14.96	b c d
Zona lago	Salcedo Inia	200	14.82	b c d e
Zona media	Salcedo Inia	200	14.66	b c d e f
Zona lago	Salcedo Inia	100	14.62	b c d e f g
Zona media	Pasankalla	300	14.56	b c d e f g
Zona media	Pasankalla	200	14.52	b c d e f g
Zona media	Blanca de Juli	300	14.40	c d e f g h
Zona media	Salcedo Inia	100	14.34	c d e f g h i
Zona lago	Blanca de Juli	300	14.26	c d e f g h i j
Zona media	Blanca de Juli	200	14.02	d e f g h i j k
Zona alta	Pasankalla	300	13.88	d e f g h i j k
Zona alta	Salcedo Inia	100	13.82	d e f g h i j k l
Zona lago	Pasankalla	200	13.68	d e f g h i j k l m
Zona media	Pasankalla	100	13.36	e f g h i j k l m n
Zona lago	Pasankalla	100	13.28	f g h i j k l m n
Zona alta	Blanca de Juli	300	13.22	f g h i j k l m n
Zona alta	Salcedo Inia	0.0	13.16	g h i j k l m n
Zona alta	Pasankalla	200	12.98	h i j k l m n o
Zona media	Salcedo Inia	0.0	12.88	i j k l m n o
Zona alta	Blanca de Juli	200	12.80	j k l m n o
Zona lago	Salcedo Inia	0.0	12.74	k l m n o
Zona alta	Pasankalla	100	12.68	k l m n o
Zona lago	Blanca de Juli	200	12.56	k l m n o p
Zona media	Blanca de Juli	100	12.36	l m n o p q
Zona lago	Blanca de Juli	100	12.28	m n o p q r
Zona alta	Blanca de Juli	100	12.10	n o p q r
Zona lago	Blanca de Juli	0.0	11.66	o p q r
Zona lago	Pasankalla	0.0	11.20	p q r
Zona media	Blanca de Juli	0.0	11.18	p q r
Zona media	Pasankalla	0.0	11.14	p q r
Zona alta	Pasankalla	0.0	10.90	q r
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	10.88	r

Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para el inicio de floración de la quinua

Zona	Variedad	Dosis	Inicio de floración de la planta (Días)	
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	92.80	a
Zona alta	Pasankalla	0.0	91.80	a b
Zona media	Blanca de Juli	0.0	90.80	a b c
Zona alta	Salcedo Inia	0.0	90.60	a b c
Zona lago	Blanca de Juli	0.0	90.60	a b c
Zona alta	Blanca de Juli	100	89.80	b c d
Zona media	Blanca de Juli	100	89.40	b c d e
Zona media	Salcedo Inia	0.0	89.40	b c d e
Zona lago	Blanca de Juli	100	89.20	b c d e f
Zona lago	Salcedo Inia	0.0	88.80	c d e f g
Zona media	Pasankalla	0.0	88.80	c d e f g
Zona alta	Salcedo Inia	100	88.40	c d e f g h
Zona alta	Blanca de Juli	100	88.40	c d e f g h
Zona alta	Salcedo Inia	100	87.60	d e f g h i
Zona media	Salcedo Inia	50	87.40	d e f g h i
Zona lago	Salcedo Inia	100	87.40	d e f g h i
Zona media	Blanca de Juli	200	87.40	d e f g h i
Zona lago	Blanca de Juli	200	87.00	d e f g h i
Zona alta	Pasankalla	100	86.80	e f g h i j
Zona lago	Pasankalla	0.0	86.80	e f g h i j
Zona media	Pasankalla	100	86.40	f g h i j
Zona alta	Blanca de Juli	300	86.20	g h i j k
Zona alta	Salcedo Inia	300	86.20	g h i j k
Zona media	Blanca de Juli	300	86.00	g h i j k l
Zona alta	Pasankalla	200	86.00	g h i j k l
Zona media	Salcedo Inia	200	85.80	h i j k l
Zona lago	Salcedo Inia	200	85.60	h i j k l m
Zona lago	Blanca de Juli	300	85.40	i j k l m n
Zona lago	Pasankalla	100	85.40	i j k l m n
Zona alta	Pasankalla	300	84.00	j k l m n o
Zona media	Pasankalla	200	83.40	k l m n o p
Zona lago	Pasankalla	200	83.20	l m n o p
Zona media	Pasankalla	300	82.80	m n o p
Zona media	Salcedo Inia	300	82.60	n o p
Zona lago	Pasankalla	300	82.20	o p
Zona lago	Salcedo Inia	300	80.80	p

Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para la maduración de la quinua

Zona	Variedad	Dosis	Maduración de la planta (Días)	
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	181.80	a
Zona media	Blanca de Juli	0.0	181.00	a b
Zona alta	Salcedo Inia	0.0	180.80	a b
Zona media	Salcedo Inia	0.0	180.60	a b
Zona lago	Blanca de Juli	0.0	180.40	a b
Zona alta	Pasankalla	0.0	180.20	a b c
Zona lago	Salcedo Inia	0.0	180.00	a b c d
Zona media	Pasankalla	0.0	179.40	a b c d e
Zona lago	Pasankalla	0.0	179.00	b c d e f
Zona alta	Salcedo Inia	100	177.80	c d e f g
Zona lago	Blanca de Juli	100	177.60	d e f g h
Zona lago	Salcedo Inia	100	177.20	e f g h i
Zona alta	Blanca de Juli	100	176.80	f g h i
Zona media	Blanca de Juli	100	176.60	f g h i
Zona media	Salcedo Inia	100	176.40	g h i
Zona lago	Pasankalla	100	176.00	g h i
Zona alta	Salcedo Inia	200	175.60	g h i
Zona alta	Pasankalla	100	175.20	h i j
Zona media	Pasankalla	100	175.00	i j k
Zona lago	Blanca de Juli	200	173.00	j k l
Zona media	Salcedo Inia	200	173.00	j k l
Zona media	Blanca de Juli	200	172.60	k l m
Zona alta	Blanca de Juli	200	172.20	l m n
Zona lago	Salcedo Inia	200	172.00	l m n o
Zona lago	Pasankalla	200	171.60	l m n o p
Zona alta	Pasankalla	200	171.20	l m n o p q
Zona media	Pasankalla	200	171.00	l m n o p q
Zona alta	Blanca de Juli	300	170.40	m n o p q r
Zona alta	Salcedo Inia	300	170.40	m n o p q r
Zona media	Blanca de Juli	300	170.00	n o p q r
Zona alta	Pasankalla	300	169.80	n o p q r
Zona media	Salcedo Inia	300	169.60	o p q r
Zona lago	Blanca de Juli	300	169.60	o p q r
Zona media	Pasankalla	300	169.20	p q r
Zona lago	Pasankalla	300	168.80	q r
Zona lago	Salcedo Inia	300	168.20	r

Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para el rendimiento de grano por panoja

Zona	Variedad	Dosis	Rendimiento de grano por panoja (gr)	
Zona lago	Salcedo Inia	300	20.13	a
Zona media	Salcedo Inia	300	18.50	a b
Zona alta	Salcedo Inia	300	18.36	a b
Zona lago	Pasankalla	300	18.02	b c
Zona media	Pasankalla	300	17.82	b c d
Zona lago	Salcedo Inia	200	17.53	b c d e
Zona alta	Salcedo Inia	200	17.44	b c d e
Zona lago	Pasankalla	200	17.33	b c d e f
Zona lago	Blanca de Juli	300	17.23	b c d e f
Zona media	Salcedo Inia	200	17.03	b c d e f g
Zona lago	Blanca de Juli	200	16.78	b c d e f g h
Zona media	Blanca de Juli	300	16.73	b c d e f g h
Zona alta	Pasankalla	300	16.70	b c d e f g h
Zona media	Pasankalla	200	16.27	c d e f g h i
Zona lago	Pasankalla	100	15.89	d e f g h i j
Zona lago	Salcedo Inia	100	15.67	e f g h i j
Zona alta	Blanca de Juli	300	15.55	e f g h i j
Zona media	Salcedo Inia	100	15.36	f g h i j
Zona media	Pasankalla	100	15.22	g h i j
Zona alta	Pasankalla	200	15.12	g h i j k
Zona alta	Salcedo Inia	100	14.94	h i j k
Zona media	Blanca de Juli	200	14.89	h i j k
Zona alta	Pasankalla	100	14.56	i j k l
Zona alta	Blanca de Juli	200	14.07	j k l m
Zona media	Blanca de Juli	100	13.18	k l m n
Zona lago	Blanca de Juli	100	12.82	l m n o
Zona alta	Blanca de Juli	100	12.57	m n o p
Zona media	Salcedo Inia	0.0	12.54	m n o p
Zona lago	Salcedo Inia	0.0	12.26	m n o p
Zona lago	Pasankalla	0.0	11.62	n o p
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	11.48	n o p
Zona media	Blanca de Juli	0.0	11.43	n o p
Zona alta	Pasankalla	0.0	11.38	n o p
Zona lago	Blanca de Juli	0.0	11.37	n o p
Zona alta	Salcedo Inia	0.0	11.13	o p
Zona media	Pasankalla	0.0	10.65	p

Prueba de significancia de Tukey ($P \leq 0.05$) de interacción de zona, variedad y dosis de hongo, para el rendimiento de grano por hectárea

Zona	Variedad	Dosis	Rendimiento de grano por hectárea (kg/ha)	
Zona lago	Blanca de Juli	300	1670	a
Zona lago	Blanca de Juli	200	1553	a b
Zona media	Blanca de Juli	300	1530	a b c
Zona lago	Pasankalla	300	1523	a b c d
Zona media	Blanca de Juli	200	1503	b c d e
Zona lago	Pasankalla	200	1478	b c d e
Zona lago	Kcancolla	200	1453	b c d e
Zona lago	Kcancolla	300	1422	b c d e
Zona alta	Kcancolla	200	1412	b c d e f
Zona alta	Blanca de Juli	200	1404	b c d e f
Zona alta	Blanca de Juli	300	1396	b c d e f g
Zona alta	Kcancolla	300	1390	c d e f g h
Zona media	Pasankalla	200	1389	c d e f g h
Zona media	Kcancolla	200	1387	c d e f g h
Zona media	Kcancolla	300	1382	c d e f g h
Zona media	Pasankalla	300	1373	c d e f g h i
Zona lago	Blanca de Juli	100	1367	d e f g h i j
Zona alta	Pasankalla	300	1355	e f g h i j k
Zona media	Blanca de Juli	100	1256	f g h i j k l
Zona alta	Blanca de Juli	0.0	1242	g h i j k l
Zona alta	Blanca de Juli	100	1234	h i j k l
Zona media	Blanca de Juli	0.0	1216	i j k l m
Zona alta	Pasankalla	200	1207	j k l m n
Zona lago	Kcancolla	0.0	1204	k l m n
Zona media	Kcancolla	100	1202	k l m n
Zona alta	Kcancolla	100	1196	k l m n
Zona lago	Kcancolla	100	1189	l m n
Zona lago	Blanca de Juli	0.0	1187	l m n
Zona alta	Pasankalla	0.0	1120	l m n
Zona media	Pasankalla	100	1118	l m n
Zona lago	Pasankalla	0.0	1114	l m n
Zona lago	Pasankalla	100	1102	l m n
Zona media	Pasankalla	0.0	1095	l m n
Zona alta	Pasankalla	100	1060	m n
Zona media	Kcancolla	0.0	1058	m n
Zona alta	Kcancolla	0.0	1052	n

Anexo 3 Galería de fotografías



Figura 10. Apertura de calicata para la lectura de horizontes del suelo. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 11. Lectura de Color de los suelos según tablero Munsell. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 12. Lectura de calicatas. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 13. Lectura de color de suelo según tablero Munsell. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 14. Preparación de terrenos en la zona Media Sector Laccollo Sejjollo. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 15. Zona Alta del distrito de Ilvae, listo para la siembra. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 16. Terreno preparado para la siembra en la zona media del distrito de Ilave. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 17. Siembra de semillas de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 18. Emergencia de las plántulas de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 19. Cultivos de quinua (*Chenopidium Quinoa* W.) listos para el desahijé. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 20. Evaluación en la fase de crecimiento del cultivo de la quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 21. Evaluación del cultivo de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 22. Evaluación del cultivo de quinua en la formación de granos. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

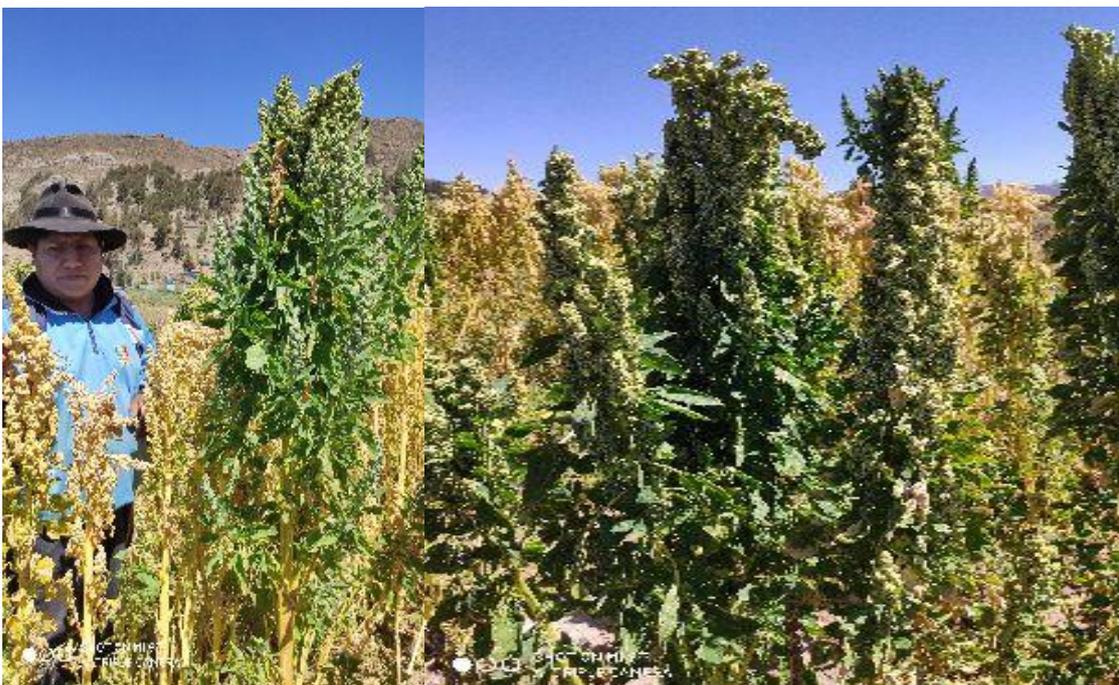


Figura 23. Cultivos de quinua en la fase de maduración.. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 24. Raíces colonizadas por hongos micorrízicos. Ilave, campaña agrícola 2019 - 2020.



Figura 25. Limpieza de los granos de quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 26. Venteo de la quinua. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.



Figura 27. Quinua venteada variedad Kamcolla. Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.

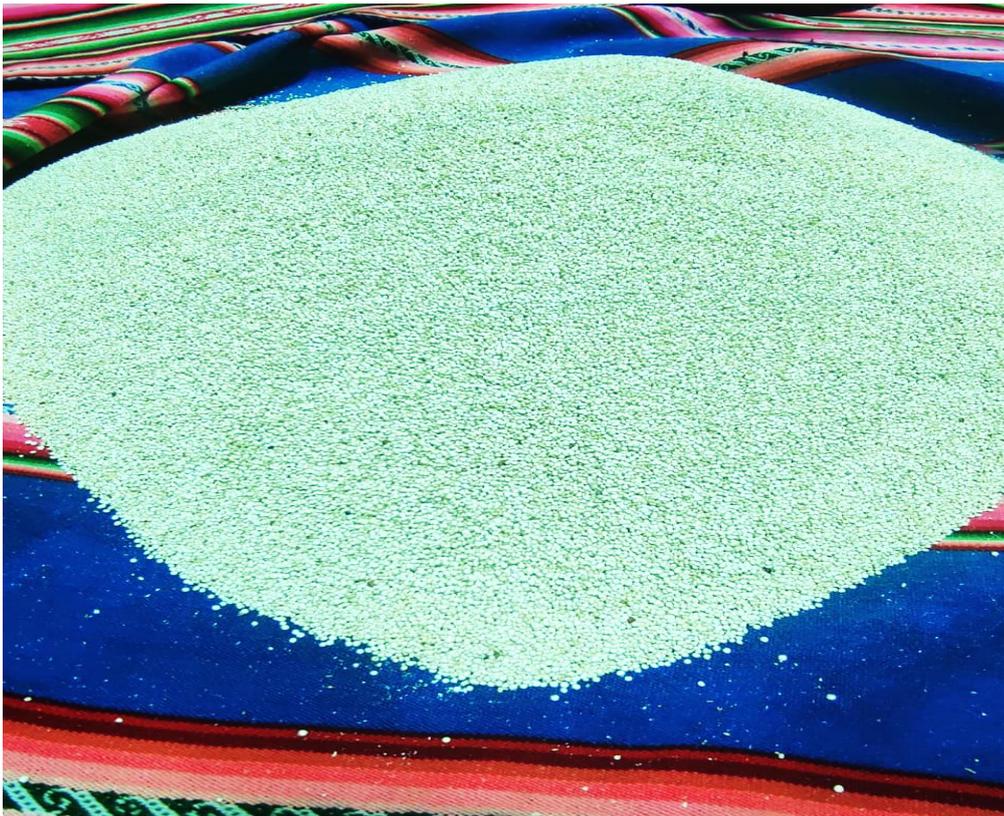


Figura 28. Quinoa perlada variedad Blanca de Juli. Ilave, campaña agrícola 2019 - 2020.



Figure 29. Quina Perlada variedad Pasankalla Ilave, campaña agrícola 2019 -2020.