

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

***Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en el rendimiento de
cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)**

Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGRÓNOMA

PRESENTADO POR:

Bach. Miriam Brenda GUTIERREZ SANCHEZ

ASESOR:

Dr. José Antonio QUISPE TENORIO

COASESORES:

M.Sc. Eugenia Rocío QUISPE MEDINA

Dr. Cayo GARCÍA-BLÁSQUEZ MOROTE

AYACUCHO - PERÚ

2025

A Dios por iluminarme el camino y acompañarme en mis situaciones más difíciles que tuve que pasar en la etapa universitaria

A mis abuelos Juana Huaraca Gutiérrez y Constantino Sanchez Chavez por su enseñanza en la vida e inculcarme por el buen camino. A mi querida madre Ruth Sánchez me dio apoyo moral en cada momento de mi vida, a mi padre Rosalino Gutiérrez por su apoyo económico y moral.

A Bhill Rondinel por su apoyo moral e infinito amor mediante el cual me sostuve y continué en el proceso de superación.

Miriam Br̄nda G S

AGRADECIMIENTOS

A mi querida Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma máter de mis estudios universitarios, además a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía por acogerme como mi segundo hogar durante mi formación profesional.

Al **Dr. José Antonio Quispe Tenorio** asesor del presente trabajo que me dio la confianza y la oportunidad de realizar mi tesis bajo su asesoría, siendo paciente y dedicando tiempo en la planificación y conducción del trabajo.

A mi co-asesora **M.Sc. Eugenia Rocío Quispe Medina**, en representación de la Estación Experimental Agraria Canaán mediante el proyecto PROSEM con CUI 2361771 “Mejoramiento de la disponibilidad, acceso y uso de semillas de calidad de papa, maíz amiláceo, leguminosas de grano y cereales, en las regiones de Junín, Ayacucho, Cusco y Puno; que con su paciencia y responsabilidad me acompañó en todo el proceso de conducción de la tesis, además de sus sugerencias asertivas que conllevaron a una buena obtención de resultados.

Al **Dr. Juan Ramiro Palomino Malpartida**, responsable del Proyecto “Uso de microorganismos para la producción orgánica sostenible de quinua, maíz y palto en la Región de Ayacucho” aportó con sus sugerencias, conocimientos y materiales en la ejecución del presente trabajo.

Al **Dr. Cayo Garcia-Blásquez Morote** ex docente de la EP Agronomía, por su apoyo en la obtención de algunos materiales, además de apoyar en la redacción y desarrollo del presente trabajo.

A mis amistades Yudith, Yordi, Leydi, Roy y Brayan, cuyo apoyo fue fundamental durante la realización de esta tesis. Gracias por su compañía, su aliento moral y respaldo emocional, así como por los gratos momentos compartidos que hicieron más llevadero este proceso.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE ANEXOS.....	12
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	16
1.1. Antecedentes	16
1.2. La quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd).....	17
1.2.1. Origen y distribución.....	17
1.2.2. Domesticación de la quinua.....	18
1.2.3. Taxonomía del cultivo de quinua.....	19
1.2.4. Descripción botánica de la quinua	19
1.2.5. Fases fenológicas de la quinua.....	21
1.2.6. Requerimientos del cultivo de quinua	22
1.2.7. Manejo de cultivo de quinua.....	23
1.2.8. Plagas y enfermedades	24
1.2.10. Importancia nutricional y usos de la quinua.....	26
1.3. Bacteria Fijadora de Nitrógeno del género <i>Azospirillum</i>	27
1.3.1. Modo de acción de <i>Azospirillum brasilense</i>	27
1.3.2. Factores que influyen en la interacción planta- <i>Azospirillum</i>	31
1.4. Micorriza vesículo-arbuscular o endomicorrizas	32
1.4.1. Características y mecanismos de acción del <i>Glomus iranicum</i> var. <i>tenuipharum</i> 32	
1.4.2. Colonización de la raíz por el Hongo Micorrízico Vesículo Arbuscular (HMV) <i>Glomus iranicum</i>	34
1.4.3. Transporte de nutrientes planta - Hongo Micorrízico Arbuscular <i>Glomus</i> <i>iranicum</i>	35
CAPITULO II	
METODOLOGÍA	36
2.1. Ubicación del experimento	36
2.1.1. Ubicación política	36
2.1.2. Ubicación geográfica	36
2.1.3. Ubicación ecológica.....	36
2.2. Antecedentes del terreno	38

2.3.	Condiciones climáticas	38
2.4.	Características físico-químicos del suelo	40
2.5.	Materiales	40
2.5.1.	<i>Material genético</i>	40
2.5.2.	<i>Tratamientos</i>	43
2.6.	Diseño experimental	44
2.7.	Diseño del campo experimental.....	44
2.7.1	<i>Características de la unidad experimental</i>	44
2.8.	Instalación y conducción del campo de experimento.....	46
2.8.1.	<i>Preparación del suelo y apertura de surcos</i>	46
2.8.2.	<i>Replanteo del diseño experimental</i>	46
2.8.3.	<i>Abonamiento</i>	46
2.8.4.	<i>Pesado de semillas de quinua</i>	47
2.8.5.	<i>Inoculación de semillas de quinua con Azospirillum brasilense</i>	47
2.8.6.	<i>Siembra</i>	48
2.8.7.	<i>Labores culturales</i>	48
2.8.8.	<i>Aplicación de Glomus iranicum</i>	49
2.8.9.	<i>Cosecha</i>	50
2.9.	Métodos y criterios de evaluación	50
2.9.1.	<i>Materiales</i>	50
2.9.2.	<i>Parámetros de evaluación</i>	51
2.10.	Análisis estadístico	52
CAPÍTULO III.....		53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		53
3.1.	Crecimiento	53
3.1.1.	<i>Altura de planta</i>	53
3.1.2.	<i>Longitud de panoja</i>	56
3.1.3.	<i>Diámetro de panoja</i>	59
3.1.4.	<i>Diámetro de tallo</i>	62
3.1.5.	<i>Longitud central de glomérulo</i>	65
3.1.6.	<i>Diámetro de glomérulo</i>	68
3.1.7.	<i>Madurez fisiológica</i>	71
3.1.8.	<i>Madurez de cosecha</i>	74
3.2.	Rendimiento	77
3.2.1.	<i>Peso de panoja</i>	77
3.2.2.	<i>Peso de grano por panoja</i>	80
3.2.3.	<i>Peso de 1000 semillas</i>	83
3.2.4.	<i>Rendimiento de grano</i>	86
3.2.5.	<i>Diámetro de grano</i>	90

3.2.6. <i>Peso hectolítrico</i>	93
3.2.7. <i>Índice de cosecha</i>	96
3.2.8. <i>Biomasa</i>	99
3.3. <i>Desarrollo de la raíz</i>	102
3.3.1. <i>Volumen de raíz</i>	102
3.3.2. <i>Peso seco de raíz</i>	105
3.3.3. <i>Longitud de raíz</i>	108
3.3.4. <i>Diámetro de raíz</i>	111
3.3.5. <i>Número de ramificaciones</i>	114
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	120
ANEXOS	127

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Resumen climático mensual (temperatura, precipitación y evapotranspiración) de la Estación Experimental de Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria – Campaña 2023-2024	38
Tabla 2.2 Interpretación de los resultados del suelo de la parcela experimental en Canaán.....	40
Tabla 2.3 Tratamientos de cuatro variedades de quinua con <i>Azospirillum brasilense</i> y <i>Glomus iranicum</i>	43
Tabla 2.4 Dimensiones de la parcela experimental	45
Tabla 3.1 Análisis de variancia para la altura de planta con <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	53
Tabla 3.2 Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en la altura de planta de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....	54
Tabla 3.3 Análisis de variancia para la longitud de panoja con <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	56
Tabla 3.4 Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en la longitud de panoja de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....	59
Tabla 3.5 Análisis de variancia para el diámetro de panoja con <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	59
Tabla 3.6 Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el diámetro de panoja de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....	60
Tabla 3.7 Análisis de variancia para el diámetro de tallo con la aplicación <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	62
Tabla 3.8 Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el diámetro de tallo de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....	63
Tabla 3.9 Análisis de variancia para la longitud central de glomérulo con <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	65

Tabla.3.10	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en la longitud central del glomérulo de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	66
Tabla 3.11	Análisis de variancia para el diámetro del glomérulo con <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	68
Tabla 3.12	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el diámetro del glomérulo de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	69
Tabla 3.13	Análisis de variancia para la madurez fisiológica con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	71
Tabla 3.14	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en la madurez fisiológica de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	72
Tabla 3.15	Análisis de variancia para la madurez de cosecha con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	74
Tabla 3.16	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en la madurez de cosecha de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	75
Tabla 3.17	Análisis de variancia para el peso de panoja con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	77
Tabla 3.18	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el peso de panoja de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	78
Tabla 3.19	Análisis de variancia para el peso de grano por panoja con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	80
Tabla 3.20	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el peso de grano por panoja de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	81
Tabla 3.21	Análisis de variancia para el peso de 1000 semillas con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	83
Tabla 3. 22	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el peso de 1000 semillas de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	84

Tabla 3.23	Análisis de variancia para el rendimiento de grano con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	86
Tabla 3.24	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el rendimiento de grano de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	87
Tabla 3.25	Análisis de variancia para el diámetro de grano con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	90
Tabla 3.26	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el diámetro de grano de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	91
Tabla 3.27	Análisis de variancia para el peso hectolítrico con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	93
Tabla 3.28	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el peso hectolitrico de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	94
Tabla 3.29	Análisis de variancia para el índice de cosecha con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	96
Tabla 3.30	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el índice de cosecha de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	97
Tabla 3.31	Análisis de variancia para la biomasa con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	99
Tabla 3.32	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en la biomasa de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	100
Tabla 3.33	Análisis de variancia para el volumen de la raíz con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	102
Tabla 3.34	Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el volumen de la raíz de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	103
Tabla 3.35	Análisis de variancia para el peso seco de la raíz con aplicación de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho	105

Tabla 3.36 Prueba de Tukey para el efecto de <i>A. brasilense</i> y <i>G. iranicum</i> en el peso seco de la raíz de cuatro variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....	106
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Mapa de ubicación de la parcela experimental ubicado en la Estación Experimental Canaán, Ayacucho; elaborado en ArcGIS 10.5 a partir de las fotografías sharfile de GEOGPSERU.....	37
Figura 2.2 Climograma de referencia para la Estación Experimental Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria- campaña 2023-2024.....	39
Figura 2.3 Representación gráfica del bloque experimental y la unidad experimental	45
Figura 2.4 Croquis y distribución del campo experimental	46
Figura 2.5 Semillas de cuatro variedades de quinua, agrupadas con su respectivo tratamiento.....	47
Figura 2.6 Fotografías de la inoculación de las semillas de quinua con A. brasilense	48
Figura 2.9 Fotografías del pesado, disolución y aplicación de <i>Glomus iranicum</i> a las plantas de quinua	48

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Resultados de análisis de suelo de la parcela experimental de la Estación Experimental Canaán	127
Anexo 2 Catálogo de fotos de la inoculación de semillas de quinua con <i>Azospirillum brasilense</i> y dosis de refuerzo	128
Anexo 3 Inoculación a las plantas de quinua con <i>Glomus iranicum</i>	129
Anexo 4 Manejo agronómico del cultivo de quinua	130
Anexo 5 Evaluaciones de las variables de medida en el cultivo de quinua	131
Anexo 6 Fotografías de las plantas de quinua evaluadas entre tratamientos de la variedad Blanca de Junín	132
Anexo 7 Fotografías de las plantas de quinua evaluadas entre tratamientos de la variedad Señor del Huerto INIA 441	133
Anexo 8 Fotografías de las plantas de quinua evaluadas entre tratamientos de la variedad Negra Collana INIA 420	134
Anexo 9 Fotografías de las plantas de quinua evaluadas entre tratamientos de la variedad Pasankalla 415	135

RESUMEN

La alta demanda de quinua orgánica exige a los agricultores el uso de abonos orgánicos en la producción. El objetivo fue evaluar el efecto de los microorganismos promotores: *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* en el crecimiento, rendimiento y desarrollo de raíz de cuatro variedades de quinua: INIA 441 Señor del Huerto, Blanca de Junín, INIA 415 Pasankalla e INIA 420 Negra Collana, con el Diseño de Parcelas Divididas en BCR. Las semillas de quinua se peletizaron con *Azospirillum brasilense* en la dosis de 1.56 kg/ha (turba) y 1.17 L/ha (líquido) a 1.0×10^8 UFC /ml. El inoculante *Glomus iranicum* en la dosis de 3kg/ha con 120 propágulos/g. De las variables evaluadas, en la altura de planta la co-inoculación *Azospirillum-Glomus* en la variedad INIA 441 Señor del Huerto superó significativamente en 14.59 cm al testigo; en diámetro de la planta, la variedad Blanca de Junín incrementó en 1.84 cm respecto al testigo; la longitud de panoja la variedad INIA 441 Señor del Huerto superó en 28.81 cm al testigo; en diámetro de panoja la variedad INIA 415 Pasankalla fue superior al testigo en 4.11 cm; el longitud central de glómulo y diámetro de glómulo fue superior con 15.19 cm y 13.17mm respectivamente en la variedad INIA 415 Pasankalla, el rendimiento del grano de quinua incremento en 2.76 T/ha respecto al testigo con la aplicación de *Azospirillum-Glomus* en la variedad Blanca de Junín; la co-inoculación de *Azospirillum-Glomus*, respecto al peso fresco, peso seco y longitud de raíz, y numero de ramificaciones de la variedad Blanca de Junín supero al testigo con 4.72 g, 3.28g, 7.35cm y 10.63 unidades. La co-inoculación con *Azospirillum-Glomus* en las variedades Blanca de Junín e INIA 441 Señor del Huerto incrementó significativamente en el crecimiento, rendimiento y desarrollo con respecto a las variedades INIA 415 Pasankalla e INIA Negra Collana.

Palabras clave: *Azospirillum brasilense*, *Glomus iranicum*, co-inoculación, quinua

INTRODUCCIÓN

La quinua es un cultivo de gran importancia en el Perú y en la región andina, no solo por su valor nutricional, sino también por su relevancia histórica y cultural. Originaria de los Andes del Perú y Bolivia, ha sido domesticada desde tiempos ancestrales por el hombre andino, quien seleccionó sus granos de acuerdo con su uso y resistencia a factores ambientales, lo que permitió el desarrollo de las variedades actuales (Tapia, Gandarillas, Alandia, Cardozo & Mujica, 1979; Mujica, Jacobsen, Izquierdo & Marathee, 2004). En la actualidad, la quinua se cultiva en una amplia gama de pisos altitudinales, desde el nivel del mar hasta los 4,000 m s. n. m., abarcando zonas costeras, andinas e incluso de la selva alta. Este cultivo se destaca por su notable tolerancia a la sequía y su resistencia a temperaturas extremas, lo que lo convierte en una alternativa estratégica frente al cambio climático y la inseguridad alimentaria (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011).

La región de Ayacucho ocupó el segundo lugar entre las regiones exportadoras de quinua orgánica en el año 2021 (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], s. f.). Para el año 2024, las exportaciones de quinua orgánica se incrementaron en un 42.1 % respecto al 2023, lo que refleja un crecimiento sostenido en la demanda internacional, destacando Estados Unidos como el principal país importador, seguido de España, Canadá e Italia (Asociación de Exportadores [ADEX], 2024). Este aumento en la demanda se debe, en gran medida, al alto valor nutricional de la quinua, que contiene entre un 12 % y 16 % de proteínas, además de una composición completa de aminoácidos esenciales como lisina, metionina y triptófano, fundamentales en la alimentación humana (Pérez, 2005).

Considerando la creciente importancia económica de la quinua orgánica, así como sus reconocidas propiedades nutricionales, surge también la necesidad de optimizar la producción mediante el uso de insumos accesibles, dado que los abonos orgánicos suelen ser limitados y costosos en la región. En este contexto, se evaluó el efecto de la aplicación de microorganismos promotoras de crecimiento, específicamente *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. *Tenuipharum*, en cuatro variedades de quinua: Blanca de Junín, Señor del Huerto, Pasankalla y Negra Collana. *A. brasilense* es una bacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), capaz de sintetizar fitohormonas como auxinas, citocininas y giberelinas, que estimulan distintos procesos fisiológicos en las plantas, tales como la elongación celular, el desarrollo de yemas laterales y la

germinación de semillas (Licea-Herrera, Andrade-Cuevas, Maldonado-Mendoza & Ramos-Valdivia, 2020). En la rizosfera de plantas inoculadas, esta bacteria contribuye al incremento de la masa radical, lo que favorece un anclaje más sólido de las plantas, así como una mayor exploración del perfil del suelo, facilitando la absorción eficiente de agua y nutrientes (Domingues, Silva, de Andrade & Baldani, 2020).

G. iranicum es un hongo formador de micorrizas arbusculares (HMA) que establece una relación simbiótica con las raíces de las plantas. Esta simbiosis se basa en un intercambio de beneficios: el hongo facilita la absorción de agua y nutrientes del suelo, especialmente elementos poco móviles como el fósforo (P) y el zinc (Zn), mientras que la planta le proporciona azúcares derivados del proceso fotosintético (Pravia, 2023). El principal efecto de *G. iranicum* radica en mejorar la disponibilidad de estos nutrientes esenciales, favoreciendo así el crecimiento vegetal. La aplicación conjunta de microorganismos como *A. brasilense* y *G. iranicum* ha demostrado un efecto positivo en el rendimiento y desarrollo de las plantas, generando cultivos más eficientes y resilientes frente al estrés hídrico, temperaturas elevadas y otras condiciones ambientales extremas (Restrepo, Jiménez, & Orduz, 2019).

El objetivo general del estudio fue evaluar el efecto de *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en el rendimiento de cuatro variedades de Quinoa, INIA 441 Señor del Huerto, Blanca de Junín, INIA 415 Pasankalla e INIA 420 Negra Collana, en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Los objetivos específicos son:

1. Evaluar el efecto de *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en el crecimiento de cuatro variedades de Quinoa, INIA 441 Señor del Huerto, Blanca de Junín, INIA 415 Pasankalla e INIA 420 Negra Collana.
2. Evaluar el efecto de *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en el rendimiento de cuatro variedades de Quinoa, INIA 441 Señor del Huerto, Blanca de Junín, INIA 415 Pasankalla e INIA 420 Negra Collana.
3. Evaluar el efecto de *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en el desarrollo de la raíz de cuatro variedades de Quinoa, INIA 441 Señor del Huerto, Blanca de Junín, INIA 415 Pasankalla e INIA 420 Negra Collana

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

León-Fajardo *et al.* (2019), examinaron, en un ensayo realizado en Cochabamba-Bolivia, el efecto de varias bacterias endófitas sobre el crecimiento de la quinua. Para dicha prueba establecieron un Diseño de Bloques Completos al Azar, que incluyó nueve tratamientos y diez repeticiones por cada grupo. Entre las respuestas medidas, las que se destacan de forma cuantitativa son: altura promedio de 104,14 cm, longitud de panoja de 34,32 cm, diámetro de panoja de 4,05 cm, peso de panoja de 26,8 g; adicionalmente, el volumen de raíz creció 20 % respecto al control, mientras que la longitud de raíz alcanzó 42,5 cm y el peso 5,2 g.

Gutiérrez *et al.* (2018) realizaron un ensayo para identificar bacterias fijadoras de nitrógeno que favoreciesen el crecimiento de *Chenopodium quinoa* Willd, utilizando un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Las cepas se probaron con dos dosis de urea, ninguna y 174 kg/ha, y bajo tres formulaciones comerciales: Gramante, Azozim y Dimazos. Las variables de respuesta se midieron en la rizosfera y abarcaban rendimiento de grano, peso de panoja, longitud de raíces, altura de planta, y longitud y diámetro de panoja. Tras el análisis de grupos, las cepas 101J (*Azospirillum*), 103J y 2C fueron elegidas, pues mostraron los mejores resultados en todas las métricas evaluadas.

Luna (2021), examinó el impacto del hongo micorrízico vesículo arbuscular *Glomus* sobre el rendimiento de quinua cultivada en Puno, planteándose como meta principal valorar cómo este hongo afecta el crecimiento y la producción del cereal. Para ello se empleó un diseño de Bloques Completos al Azar y se aplicaron dosis diferentes de hongo a las semillas antes de la siembra. Los datos mostraron que al inocular 300 gramos de hongo por kilogramo de semilla la variedad blanca de Juli alcanzó 1,67 TM/ha, y la

Pasankalla llegó a 1,52 TM/ha; en paralelo se registraron 18,50 g de grano por panoja, 181,80 días hasta madurez fisiológica, 16,92 mm de diámetro del tallo y 157,80 cm de altura promedio.

Quispe *et al.* (2021) Se evaluaron distintas densidades de planta tras la aplicación de *Azospirillum* y *Trichoderma* en Canaan, Ayacucho. El objetivo del estudio fue determinar cómo estos dos microorganismos influyeron en el rendimiento del cultivar de quinua INIA 441 Señor del Huerto. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar; con esta metodología se encontró que las variables rendimiento de grano, diámetro de tallo y peso de panoja presentaron diferencias estadísticas significativas. Los promedios obtenidos fueron 5,90 TM/Ha para el rendimiento, 9,83 mm para el diámetro del tallo y 81,04 g para el peso de panoja, mientras que el peso de la raíz alcanzó 6,66 g.

Quispe (2023), examinó el impacto de tres microorganismos benéficos sobre la producción de quinua en Canaán, Ayacucho; el estudio buscó determinar cómo *Glomus iranicum*, *Azospirillum brasilense* y *Sinorhizobium meliloti*, los cuales influyen en el crecimiento y el rendimiento del cultivo. Para ello, adoptó un diseño de Bloques Completos al Azar, en el que ocho tratamientos se asignaron aleatoriamente a tres bloques (repeticiones). Según los hallazgos, la longitud promedio de la panoja fue de 94,45 cm, el rendimiento de grano alcanzó 4,65 TM/Ha, la longitud de raíz midió 19,82 cm, se contabilizaron siete raíces por planta y el peso total de las raíces fue de 5,28 g.

1.2. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)

1.2.1. Origen y distribución

En 1965, tras recorrer Centroamérica y Colombia, Bucasov observa que el cultivo de la quinua se remonta a tiempos muy antiguos en los Andes peruanos y bolivianos, y que con el tiempo fue ajustándose clima y suelo a medida que avanzó hacia el norte hasta Colombia y hacia el sur hasta Chile (Tapia et al. 1979). Este cultivo muestra la mayor distribución de formas, diversidad entre Potosí (Bolivia) y Sicuani (Cusco, Perú).

Lescano en 1994, clasifica la quinua en cuatro grandes grupos, de acuerdo con las condiciones agroecológicas en que se cultiva: valles interandinos, altiplano, salares y zona costera a nivel del mar. Cada uno de estos grupos exhibe rasgos botánicos, requisitos

agronómicos y grados de adaptación propios (FAO, 2011).

Durante el periodo inca, el cultivo de la quinua recibió notables avances agronómicos y se extendió ampliamente por los territorios del Tahuantinsuyo. Pedro de Valdivia fue el primer español en mencionarla, anotando que los indígenas la sembraban junto a otros alimentos; en cambio, Bernabé Cobo la confundió con la kiwicha (Mujica et al. 2004). Por su parte, el cronista Garcilaso de la Vega, en los Comentarios reales, la clasifica como uno de los dos cereales más importantes y señala que su grano recuerda al mijo o al arroz en miniatura. En esa misma obra se alude al primer envío de semillas a Europa, el cual resultó fallido porque las plantas arribaron marchitas, probablemente por la elevada humedad del viaje marítimo (Ministerio de desarrollo agrario y riego, s. f.)

De acuerdo con Mujica et al. (2004), el grano andino finalmente salió de sus montañas natales gracias a programas cooperativos de investigación y transferencia de tecnología, como PROCISUR, PROCIANDINO, JUNAC y las iniciativas de la FAO, primero por toda Sudamérica, luego por Centroamérica y México. Con el tiempo, la planta cruzó la frontera de Estados Unidos y, pronto, fue cultivada también en Canadá.

Hoy en día la enfermedad se ha diseminado por casi toda Europa, incluyendo Inglaterra, Alemania, Dinamarca, España, Italia, Francia, Rusia y Portugal, y también se encuentra presente en el sur de Asia.

1.2.2. Domesticación de la quinua

Durante el proceso de domesticación se produjeron varios cambios morfológicos en la quínoa, como la compactación de la inflorescencia en la punta de la planta, el aumento del tamaño general de la planta y de las semillas, la reducción del grosor de la testa y el desarrollo de altos niveles de pigmentación; por este motivo, hoy en día se cultivan variedades de colores claros. Estas transformaciones evidencian el largo periodo en que las comunidades humanas han ido seleccionando y cultivando este recurso agrario (Mujica et al. 2004).

Mujica et al. (2004) mencionan que las comunidades andinas han ido eligiendo ciertos genotipos de quinua en función de su rendimiento y resistencia a plagas, sequías y heladas, proceso que ha dado origen a las variedades que hoy conocemos.

1.2.3. Taxonomía del cultivo de quinua

La especie en estudio pertenece a la familia Chenopodiaceae y al género *Chenopodium*. Dentro de este grupo, cuatro especies se cultivan como fuentes alimentarias: *Chenopodium quinoa* Willd., *Chenopodium pallidicaule* Aellen, *Chenopodium nuttalliae* Safford y *Chenopodium ambrosioides*. El número básico de cromosomas del género es nueve, de modo que la quinua es un alote-traploide que presenta 36 cromosomas en la línea somática. (Mujica et al. 2004)

Según Pérez (2005) la quinua se clasifica en:

Reino	: Vegetal
División	: Fanerógamas
Clase	: Dicotiledóneas
Sub clase	: Angiospermas
Orden	: Centropermales
Familia	: Chenopodeaceas
Género	: <i>Chenopodium</i>
Especie	: <i>Chenopodium quinoa</i> Willd

1.2.4. Descripción botánica de la quinua

a) La raíz. La planta de quinua desarrolla una raíz pivotante, fuerte y profunda, que se ramifica con abundancia y tiene un aspecto fibroso; esa estructura le confiere una notable resistencia a la sequía y una buena sujeción al suelo. Aunque las raíces secundarias emergen del periciclo y se asemejan a una cabellera, se distinguen sin dificultad de la raíz principal (Mujica et al. 2004).

b) El tallo. En su zona más baja, justo donde se une al cuello de la raíz, el tallo presenta un perfil cilíndrico; sin embargo, al separarse del suelo, empieza a adoptar bordes angulosos. La corteza resulta firme y densa porque está construida por capas de tejido lignificado que le otorgan resistencia. En ejemplares jóvenes, el interior, o médula, es generalmente blanda, pero en plantas adultas se vuelve esponjosa y seca, de modo que al cosechar se desmorona, dejando un tubo vacío en el centro. Los matices de color, las estrías y las axilas visibles en el tallo pueden servir como claves útiles para distinguir las distintas variedades. Con el paso del tiempo, el tallo maduro tiende a adquirir tonos crema o rosados que varían en

intensidad según la planta (Gómez & Aguilar, 2016).

c) Las hojas. A lo que mencionan Gómez y Aguilar (2016), cada hoja se divide en dos partes: el pecíolo, que puede ser largo o corto y variar en tono según su origen, y la lámina. Esta última presenta tres venas principales y su tamaño y forma cambian si la hoja forma parte del follaje general o de una inflorescencia. Además, cada hoja exhibe márgenes que pueden ser enteros, dentados o lobulados y su superficie está cubierta por una pubescencia que recuerda pequeñas vesículas de distinto color. Esa pubescencia, rica en oxalato de calcio, capta humedad del aire y, al hacerlo, influye en la transpiración de las células que rodean las estomas. En su fase juvenil, la lámina es casi completamente verde, pero con el tiempo puede adquirir tonalidades amarillas o púrpuras.

d) La Inflorescencia. Esta estructura se presenta como una panoja que varía entre 15 - 70 cm de largo, y se sitúa en el extremo de la planta y de las ramas. Se puede dividir, según la disposición de sus glomérulos, en tres tipos: amarantiformes, glomerulatas e intermedias. En las amarantiformes, los glomérulos son casi rectangulares y se fijan directamente al eje secundario; en las glomerulatas, tienen forma redondeada y cuelgan del eje terciario; y en las intermedias, la forma de los glomérulos resulta indefinida (Gómez & Aguilar, 2016).

e) Las flores. La planta presenta un tipo de floración ginomonoica, con flores hermafroditas y flores únicamente pistiladas. Las flores hermafroditas, que ocupan la parte superior del glomérulo, tienen un tamaño mayor, con un diámetro que varía entre 3 y 5 mm; por debajo y alrededor de ellas se disponen las flores pistiladas. Si bien el cultivo de quinua se clasifica generalmente como autógeno, se ha observado que la polinización cruzada ocurre en cerca del 17 % de los casos (Gómez & Aguilar, 2016)

f) El fruto. Según Gómez y Aguilar (2016), describen el fruto, un aquenio escaso entre 1,5 y 3 mm, como una estructura que puede adoptar formas lenticulares, elipsoidales, cónicas o incluso esferoidales. Este pequeño receptáculo está rodeado por un perigonio sepaloide que se desprende con facilidad al madurar, aunque la precisión del momento varía entre variedades. Por dentro, el achenio

comparte el pericarpio, que se adhiere a la semente y contiene la mayor parte de la saponina, y la semilla misma.

g) La semilla. Según Mujica *et al.* (2004) la semilla es ese mismo fruto maduro una vez despojado del perigonio y mide entre 1.5 y 4 mm; su forma mantiene la lenticularidad, la elipsoidalidad, la conicidad o la esferoidalidad observadas en el fruto completo. En su interior se pueden distinguir tres componentes primordiales: la episperma, el embrión y el perisperma. La episperma a su vez se organiza en cuatro capas: la primera, exterior y rugosa, almacena la saponina; la segunda, delgada y lisa; la tercera, amarillenta, fina y opaca; y la cuarta, translúcida.

1.2.5. Fases fenológicas de la quinua

La duración del ciclo de la quinua puede variar entre cuatro y siete meses, según las características específicas de cada variedad y las condiciones ambientales del área donde se cultive (Bertero & Hall, 1999, citado por Bolo, 2019). Por otra parte, la especie pasa por doce fases fenológicas claramente definidas que se describen en la tabla 1.1; estas etapas permiten observar y reconocer los cambios visibles en el crecimiento y desarrollo de la planta a lo largo del tiempo (Mujica y Canahua, 2001, como se citó en Bolo, 2019).

Tabla 1.1

Fases fenológicas del cultivo de quinua

Fase fenológica	Días después de la siembra
Emergencia	7 a 10
Estado de dos hojas verdaderas	15 a 20
Estado de cuatro hojas verdaderas	25 a 30
Estado de seis hojas verdaderas	35 a 45
Ramificación	45 a 50
Inicio de panojamiento	55 a 60
Panojamiento	65 a 70
Inicio de floración	75 a 78
Floración o antesis	90 a 100
Grano lechoso	100 a 130
Grano pastoso	130 a 160
Madurez fisiológica	160 a 180

Fuente : (Mujica y Canahua, 2001 como se citó en Bolo, 2019)

1.2.6. Requerimientos del cultivo de quinua

a) Suelo. La quinua se desempeña bien en terrenos desde muy ácidos (pH 4.5) hasta muy alcalinos (pH 9), aunque los rangos preferidos, que varían según cada cultivar, van de 6.5 a 8.0 (Pinargote, 2018).

b) Temperatura. La planta aguanta temperaturas desde -8 °C hasta 38 °C, pero crece mejor entre 12 °C y 20 °C; incluso se han visto ejemplares que soportan -5 °C durante la fase de llenado de granos, lo que sugiere que la severidad del frío es menos dañina si llega en ese estadio del ciclo (Luna, 2021)

c) Agua. Se considera que la quinua usa el agua con gran eficacia y, además, sobrevive períodos largos de sequía, por lo cual rinde de forma aceptable incluso con solo 100 a 200 mm de lluvia al año. Existe como planta C3, pero su fisiología le otorga técnicas que le permiten sobreponerse al estrés por falta de humedad del suelo (Luna, 2021).

d) Radiación. La quinua tolera niveles elevados de radiación solar, lo que le permite acumular las horas de calor que necesita para completar su ciclo vegetativo y productivo (Luna, 2021).

e) Fotoperiodo. Esta especie presenta variedades o ecotipos que responden a fotoperiodos de corta o larga duración, lo cual determina sus patrones de floración y rendimiento (Luna, 2021).

f) Altitud. Según a la FAO (2011) la quinua muestra una notable versatilidad a lo largo de los pisos agroecológicos que se extienden desde el nivel del mar hasta los 4000 m, siendo capaz de crecer en ambientes que van desde desérticos hasta cálidos y secos, e incluso florecer con humedades relativas que oscilan entre el 40 y el 88%.

1.2.7. Manejo de cultivo de quinua

a) Preparación del suelo. En el cultivo de quinua, el laboreo se adapta al enfoque que se utilice, sea tradicional o mecanizado. En la opción tradicional, los agricultores emplean herramientas manuales como la chaquitaklla, el pico, la taquiza y el liukana; en cambio, el sistema mecanizado confía en el arado de disco arrastrado por tractor, aunque esta técnica resulta poco viable en terrenos con fuerte pendiente (Apaza *et al.* 2013) .

b) La siembra. constituye la fase más decisiva de la producción de quinua, ya que de ella depende la emergencia uniforme de plántulas. Por ello, esta operación debe ejecutarse bajo condiciones ambientales óptimas: temperatura entre 15 y 20 °C, humedad del suelo en tres cuartas partes de su capacidad de campo y una dosis de semilla de 8 a 12 kg/ha. Cuando se utilizan surcos, la semilla se deposita a 2 o 3 centímetros de profundidad, según la humedad del perfil, y se cubre apenas con tierra; la separación entre líneas varía entre 50 y 80 centímetros, según la variedad elegida (Apaza *et al.* 2013). En suelos débiles, recomienda un abonamiento preliminar de 80-40-30 kilogramos de NPK por hectárea, distribuyendo la mitad del nitrógeno al plantar y el resto al aporque, a la vez que se incorpora todo el fósforo y el potasio.

c) Labores culturales

- **Control de malezas.** Se implementa para que las malas hierbas no roben recursos al cultivo y el trabajo varía según el tipo de rotación que hayan tenido las parcelas antes. Por lo general, se programa uno o dos deshierbes, ya sea cuando las plantas alcanzan 10 cm o a los 45 días tras la siembra (Pérez, 2005).
- **Raleo o entresaque.** Este procedimiento nace de la necesidad de frenar la lucha interna por nutrientes, agua y luz y de otorgar espacio suficiente para un crecimiento uniforme. Para lograrlo, se eliminan las muestras más pequeñas o raquílicas y se retienen entre 20 y 30 plantas por metro línea (Pérez, 2005) Habitualmente el raleo se efectúa entre 30 y 45 días luego de la emergencia, antes de que la altura promedio sobrepase los 20 cm. En esa jornada queda entre 10 y 15 plantas por metro, trabajo que se combina, además, con el deshierbo.

- **Aporque.** Se realiza al inicio del panojamiento, a una altura de planta promedio de 35 a 40 cm, esta actividad se complementa con la adición del 50% restante de la fuente de Nitrógeno. El aporque se hace de forma manual, con yunta o maquinaria, con la finalidad de evitar caída de plantas (Pérez, 2005).
- **Riego.** El régimen de humedad debe mantenerse de manera uniforme, ajustando la frecuencia e intensidad de cada riego según el fenómeno climático y el estado fenológico del cultivo, según Mujica (1997), el cultivo de quinua requiere entre 300 y 500 mm de precipitación anual para alcanzar su potencial; sin embargo, esta especie tolera secas severas y prolongadas en distintas etapas de su ciclo. De hecho, en algunas zonas andinas se reportan rendimientos de hasta 1500 kg/ha con apenas 190 mm de lluvia. Las fases fenológicas que más demanda de agua presentan son la germinación, el panojamiento y la floración.

d) Cosecha. Esta etapa se lleva a cabo cuando la planta alcanza su madurez fisiológica, momento en el que las hojas asumen un color amarillo y las espigas presentan su máxima acumulación de almidón; la recolección puede efectuarse de manera manual, mediante una combinación de trabajo humano y mecánico, o exclusivamente con maquinaria.

Con el sistema manual, es preferible trabajar por la mañana para reducir las pérdidas de granos que pueden ocurrir durante el corte y el transporte a las eras de trilla; una vez apiladas, las panojas se destruyen golpeándolas con garrotes, rozándolas con piedras o pisándolas con un tractor, y durante la tarde se procede al venteado, al secado de los granos y, finalmente, al almacenamiento en espacios frescos y secos (Pérez, 2005).

1.2.8. Plagas y enfermedades

- a) **El insecto El "pegador de hojas", o "polilla de la quinua" (*Eurissacca melanocampta*),** es actualmente la plaga más devastadora del cultivo de quinua. El insecto adulto mide apenas 9 mm y presenta un tono gris parduzco poco llamativo. Su primera generación de larvas perfora y destruye las hojas y las inflorescencias que empiezan a formarse, además enrolla las hojas tiernas, adhiriéndolas entre sí y alimentándose del parénquima. Si la infestación es intensa,

la planta detiene el crecimiento en pocos días y el lote queda arrasado. Las larvas de las siguientes generaciones atacan cuando se inicia la formación de la panoja: se adentran en los granos lechosos y en maduración, causando que el agricultor encuentre, al momento de cosechar, graneles casi vacíos y miserables (Pérez, 2005)

b) Aves. Las aves también se suman a los enemigos del agricultor, pues picotean los granos en estado lechoso y pastoso. El daño ocurre no sólo al comer, sino porque al rasgar los granos en la panoja hacen que muchas semillas caigan y se desgranen solas. Los agricultores han documentado pérdidas de entre 30 y 40 por ciento de la producción cuando las bandadas son grandes y las parcelas están desprotegidas. Como medida preventiva, se aconseja evitar sembrar cerca de árboles altos o arbustos que ofrezcan posaderos seguros a estas aves (Pérez, 2005)

c) Mildiu (*Peronospora variabilis*). Esta enfermedad se considera la más severa y común en los cultivos de quinua a nivel global. Puede aparecer en diversas variedades y en cualquier etapa de crecimiento de la planta. En ciertos lotes, las lesiones son bordes bien delimitados; en otros, las manchas son extensas, de un tono pálido y húmedo, y a veces cubren toda la superficie foliar. Las hojas lucen como si tuvieran ampollas, y cuando la infección avanza, toda la planta presenta un aspecto similar al que causan virus: enanizada y amarillenta. En tallos y ramas, los síntomas son más sutiles, apareciendo manchas dispersas que pasan desapercibidas. Para controlar el mildiu, en huertos pequeños se aconseja arrancar a mano las plantas jóvenes, reducir la humedad en sectores del predio, preparar el terreno con un leve drenaje y aplicar fungicidas como Poliran, Dhitane, Cupravit, Ridomil o mancozap. Por último, en cultivares sensibles es clave no sembrar muchas plantas por metro lineal, lo que se consigue haciendo un raleo adecuado (Pérez, 2005).

1.2.9. Producción nacional de la quinua

El Instituto Nacional de Estadística e Informática informa que en 2021 la siembra de quinua creció en extensión y productividad gracias a las mayores áreas cosechadas en Cusco, Ayacucho y Apurímac, que juntas aportaron el 75,5 % del total nacional. La región de Lima, por su parte, concentró el 70 % de las exportaciones, equivalente a 94,9 millones

de dólares, de los cuales el 66 % correspondió a quinua orgánica. Ayacucho ocupó el segundo puesto, con envíos que representaron el 12 % del total (15,6 millones de dólares) (centro de investigaciones de economía y negocios globales, 2021). Para el primer cuatrimestre de 2024, las exportaciones de granos andinos alcanzaron 43 millones 467 mil dólares y mostraron un crecimiento interanual del 42,1 % frente a 2023 (Asociación de exportadores, 2024)

Las cifras del Sistema de Inteligencia Comercial ADEX Data Trade indican que, de 54 mercados, Estados Unidos lidera la lista con 18 millones 458 mil dólares, un incremento del 66% y una cuota del 42%. A EE. UU. le siguen España (3 millones 737 mil), Canadá (3 millones 176 mil), Italia (1 millón 486 mil) y Países Bajos (1 millón 374 mil). El listado del top ten se completa con Reino Unido, Chile, Israel, Japón y China (Asociación de exportadores, 2024)

Desde otro ángulo, tras Perú y Bolivia, los siguientes grandes cultivadores de quinua son Estados Unidos, Ecuador y Canadá, y juntos cosechan cerca del diez por ciento del total mundial. En concreto, Norteamérica siembra ahora alrededor de 3.000 toneladas métricas al año, lo que equivale a un seis por ciento del volumen global. En cambio, la cosecha canadiense muestra un rango más fluctuante que va de 30 a 1.000 toneladas métricas por temporada (CAF et al. 2001, Laguna 2003, como se citó en la FAO, 2011)

1.2.10. Importancia nutricional y usos de la quinua

Pérez (2005) señala que la quinua aporta entre el 12 y el 16 % de su peso en proteínas, y lo más valioso es que incluye prácticamente todos los aminoácidos esenciales, como lisina, metionina y triptófano.

Según otra fuente (www.ilogica.cl, s. f.), cada 100 gramos de quinua cocida aportan 370 calorías, 14 gramos de proteína, 64 gramos de carbohidratos, 6 gramos de grasa, 7 gramos de fibra, 22 miligramos de vitamina C, 47 miligramos de calcio y 4,6 miligramos de hierro, junto con otros minerales y antioxidantes.

Por su versatilidad, la quinua llega a la mesa de muchas maneras; en primer lugar, los granos se lavan para quitar la saponina que les da sabor amargo, luego se incluyen en guisos, sopas, postres, ensaladas, pan, galletas, tortas, e incluso se germinan. Las hojas y

plántulas se usan como verdura, sustituyendo a la espinaca o acelga, y en México se preparan las inflorescencias capeadas, como ocurre con el huauzontle. También la quinua alimenta a los animales, bien sea como forraje verde o como ingrediente en concentrados y suplementos, mientras que las variedades negras, por su alto contenido de saponinas, son valorizadas como repelentes naturales ante ciertas plagas (Mujica et al. 2004).

1.3. Bacteria Fijadora de Nitrógeno del género *Azospirillum*

Los primeros registros científicos sobre la bacteria fueron realizados por la microbióloga brasileña Johana Dobereiner a comienzos de la década de 1970; dado su afán de fijar nitrógeno atmosférico en condiciones de vida libre, la bautizó *Azospirillum* y desde entonces la clasificación la sitúa dentro del grupo de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR). Desde el punto de vista taxonómico, *Azospirillum* es una bacteria gram-negativa, cuyos individuos presentan forma de vibrio o espirilo y se destacan por su movilidad activa en medios líquidos (Domínguez et al. 2020).

Actualmente se reconocen quince especies validas en el género: *A. melinis*, *A. canadiense*, *A. halopraeferens*, *A. irakense*, *A. lipoferum*, *A. brasilense*, *A. amazonense*, *A. largimobile*, *A. doebereinereae*, *A. oryzae*, *A. zaeae*, *A. rugosum*, *A. palatum*, *A. picis* y *A. thiophilum*. Sin embargo, las cepas *A. lipoferum* y *A. brasilense* han recibido una atención mucho mayor, ya que son las que con mayor frecuencia se aíslan de gramíneas y forrajeras en las zonas tropicales del planeta (Domínguez et al. 2020)

1.3.1. Modo de acción de *Azospirillum brasilense*

Los principales beneficios que aportan las rizobacterias a las plantas incluyen la síntesis de fitohormonas, la mejora de la disponibilidad de nutrientes minerales y una protección efectiva frente a fitopatógenos (Licea-Herrera et al. 2020).

El *A. brasilense* genera auxinas, que impulsan el crecimiento, citocininas, que estimulan la brotación lateral, y giberelinas, que favorecen la germinación y regulan el alargamiento, en la rizósfera de la planta inoculada; este pack hormonal aumenta la biomasa radical, asegura un anclaje temprano y amplía la exploración del perfil del suelo, con lo que las cosechas logran absorber más agua y nutrientes (Domínguez et al. 2020).

La producción de reguladores vegetales es, por tanto, una de las vías más decisivas de estas bacterias, pues altera el crecimiento, modifica la morfología radicular y optimiza el uso del sustrato, lo que a su vez reduce el nitrato que queda disponible en el suelo y potencia la fijación biológica del nitrógeno (Domínguez et al. 2020).

a. Producción de reguladores vegetales por mecanismo del *Azospirillum brasilense*

- **Producción de auxinas.** Las auxinas son hormonas vegetales que regulan la dirección del crecimiento en tallos y raíces, respondiendo tanto a la gravedad como a la luz. Estas moléculas intervienen también en la formación de tejidos vasculares, mantienen la dominancia apical, promueven raíces laterales y adventicias, y aceleran la división y elongación celular en tallos y raíces. En cultivo, el ácido indol-3-acético (AIA) imita casi todos estos efectos (Paredes, 2013)

- *A. brasilense*, por su lado, produce AIA de forma inducible a través de la ruta del indol IPA (vía indol-3-piruvato, síntesis que depende principalmente del estado de crecimiento bacteriano y de la cantidad de triptófano (trp) disponible en el medio (Paredes, 2013).

Paredes (s.f.) señala que, cuando el triptófano está disponible, la ruta principal hacia el ácido indol-3-pirúvico (IPA) se activa, mientras que la vía del indol-3-acetamida (IAM) aparece en menor grado. Esa ruta secundaria depende de dos grupos enzimáticos: las Trp-monooxigenasas, que oxidan el triptófano hasta formar indol-3-acetamida, y las AIM-hidrolasas, que hidrólisan el precursor y producen AIA. Existe, además, una tercera ruta menos relevante llamada vía de la triptamina; en ella el triptófano se convierte primero en triptamina por acción de Trp-decarboxilasas, y luego esa amina se oxida a indolacetaldehído mediante amina-oxidasa. En cultivos de *Azospirillum brasilense*, el 90% del AIA obtenido proviene de las rutas IAM y IPA, y el restante 10% de una vía independiente que no requiere triptófano.

- **Producción de etileno.** *A. brasilense* genera etileno, aunque esa actividad queda condicionada por la inclusión de metionina en el medio de cultivo. Este fenómeno

se traduce en variaciones morfológicas, como un mayor desarrollo radicular y una elevación en la actividad de la ACC (sintasaminociclopropano-1-ácido carboxílico), enzima central de la vía biosintética de la hormona.

El paso limitante en la síntesis del gas es la conversión de S-adenosilmetionina (SAM) a 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC), reacción que cataliza la mencionada ACC sintasa. Tanto su expresión como su actividad, y en consecuencia la producción de etileno, aumentan al añadir AIA (ácido indol-3-acético) de forma exógena. Esto sugiere que parte del etileno producido se origina por una interacción entre el AIA bacteriano y la vía biosintética del gas. Aun cuando el organismo *Azospirillum* promueve el crecimiento de las plantas, carece de ACC deaminasa y, por tanto, no puede regular los niveles de etileno en los tejidos vegetales. Un exceso de esta hormona resultante puede volverse tóxico para el hospedador (Licea-Herrera et al. 2020).

- La **reducción asimilatoria de nitrato**. Ocurre principalmente en las raíces de las plantas. A través de este proceso, el nitrato (NO_3^-) es convertido en amoníaco, lo que implica un menor gasto energético en comparación con otras vías, permitiendo así que la planta redirija esa energía hacia funciones vitales. En este contexto, Fages (1994), citado por Domínguez et al. (2020), sostiene que las comunidades bacterianas del suelo modulan la actividad de la glutamina sintasa, una enzima clave en la asimilación del nitrógeno, contribuyendo así a un mayor rendimiento de los cultivos.

- b. **Fijación biológica de nitrógeno por *Azospirillum brasilense***. Este proceso es llevado a cabo por la enzima nitrogenasa, que, por su sensibilidad al oxígeno, limita la fijación a solo un 30% del nitrógeno incorporado a la planta. De acuerdo con Paredes (2013), la reducción del nitrógeno a amonio ocurre en tres etapas:
 - Reducción de la proteína Fe por transportadores de electrones.
 - Transferencia de un único electrón desde la proteína Fe a la proteína MoFe mediante un proceso dependiente de Mg-ATP.
 - El electrón se transfiere finalmente al sustrato en el sitio activo de la proteína MoFe.

Existen tres tipos de nitrogenasa en la naturaleza; los microorganismos diazotróficos como *Azospirillum* solo portan el tipo 1, que depende de molibdeno (Mo). Esta variante es regida por los genes *nif*, cuya expresión se activa únicamente en medios con suficiente molibdeno (Paredes, 2013).

c. **Resistencia al estrés hídrico.** *A. brasilense* libera ácido abscísico, una hormona que normalmente utiliza la planta como parte de su defensa frente a la falta de agua. Bashan y Holguín (2004, citado en Paredes, 2013) explican que esta fitohormona actúa como una señal interna frente a condiciones de sequía, temperaturas extremas y exceso de sal; posteriormente, Cohen et al. (2014, también citado por Paredes) inocularon *A. lipoferum* en maíz y hallaron que el incremento en ácido abscísico coincidió con una evidente mejora en la tolerancia a la sequía. Según Paredes (2013), la capacidad del sistema radicular para sortear climas adversos no solo deriva de este compuesto, sino que se potencia mediante la producción adicional de prolina, así como de poliaminas tales como cadaverina, espermina y espermidina, que por lo general están vinculadas con el crecimiento de raíces y con la mitigación del estrés en las plantas.

d. **Aumento del sistema radicular.** Hartman & Baldani (2006; citado en Paredes, 2013) indican que una expansión notable de la masa radical es un mecanismo que favorece, a su vez, la absorción de minerales y agua del suelo.

Este crecimiento radicular se origina en la acumulación de compuestos que promueven dicho crecimiento, siendo la auxina, en particular el ácido 3-indolacético (AIA), la hormona más destacada (Paredes, 2013).

Paredes (2013) explica que el *A. brasilense* interviene en la planta desde la rizosfera, donde, bajo condiciones adecuadas, se sintetiza AIA y esa dosis endógena adicional inicia una cascada de respuestas celulares cuya vía primaria es la pared celular y el núcleo.

La bacteria coloniza preferentemente la zona de elongación y la región de pelos radicales, y en la rizosfera lo hace tanto sobre la capa de mucigel que rodea la raíz, es decir, de modo externo, como dentro de los espacios intercelulares del tejido radical, entendida esta última como colonización interna (Domingues et al. 2020).

- e. **Control biológico.** Bashan y Holguín (2004, citado en Paredes, 2013) argumentan que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por su sigla en inglés) pueden desempeñar un papel relevante como agentes de control biológico en agroecosistemas.

Dicha acción limitada ocurre mediante parasitismo, síntesis de antibióticos, toxinas y enzimas, interferencia en la señalización planta-huésped y, en ocasiones, inducción de resistencia sistémica (Spaepen et al. 2009, citado en Paredes, 2013).

Las PGPR facultativas producen metabolitos secundarios que funcionan como antibióticos, fungicidas, antivirales e inmunosupresores, colonizan la rizosfera y pueden penetrar en tejidos internos, limitando así patógenos que atacan las raíces y otras partes enterradas del cultivo (Paredes, 2013).

Silva y colaboradores (2009, citado en Paredes 2013) señalan que el género *Azospirillum* se considera un biocontrolador de plantas, y varios estudios confirman que esa misma bacteria atenúa enfermedades provocadas por *Agrobacterium tumefaciens*, responsable de la enfermedad corona de agallas; esta acción protectora ocurre porque la bacteria genera metabolitos químicos que alteran el funcionamiento celular de la planta y fortalecen sus defensas. Tal mecanismo ha sido vinculado principalmente a dos rutas metabólicas, la primera de las cuales involucra la producción aumentada de ácido jasmónico y ácido salicílico (Hartman et al. 2006, citado en Paredes 2013), y la segunda se activa a través de la vía de señalización dependiente del ácido jasmónico y el etileno.

1.3.2. Factores que influyen en la interacción planta-Azospirillum

En cuanto al pH, *A. brasilense* empieza a mostrar problemas si el valor bordea 6,0 y sube hasta 7,8; por fuera de ese intervalo, su crecimiento se frena de manera notable. Temperaturas cercanas a 30 °C favorecen su desarrollo, quedando periodos prolongados a grados superiores o inferiores como factores que alteran sus exigencias nutricionales (Paredes, 2013). Respecto a la aireación, la cepa fija nitrógeno de forma más eficiente cuando el medio contiene bajos niveles de oxígeno. Así, para que el microorganismo se multiplique adecuadamente, se sugiere mantener una relación de 1

parte de oxígeno por 5 partes de nitrógeno en el cultivo (Paredes, 2013).

1.4. Micorriza vesículo-arbuscular o endomicorrizas

Las micorrizas vesículo-arbusculares constituyen un vínculo simbiótico frecuente entre las raíces de la mayor parte de las plantas vasculares y un grupo relativamente pequeño de hongos que hoy se agrupan en el nuevo filo Glomeromycota. El rasgo más visible de esta relación es que las hifas penetran dentro de las células de la raíz, donde forman arbusculos-extensiones ramificadas que median el trueque de nutrientes- y, a la vez, producen un micelio exterior que se conecta con el suelo y genera esporas. En varias especies, esas hifas desarrollan vesículas-esferas repletas de lípidos- que sirven como reservas, y por ello esta asociación recibe también el nombre de vesículo-arbuscular (Camarena-Gutiérrez, 2012).

1.4.1. Características y mecanismos de acción del *Glomus iranicum* var.

tenuihypharum

La cepa de *G. iranicum* var. *tenuihypharum* se obtuvo de un suelo salino del tipo Solonetz Gley. Este tipo de terreno se caracteriza por su alta densidad, condiciones hidromórficas, gran compactación y abundantes costras salinas en la superficie (Cepa de *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* var. nov y su uso como bioestimulante, 2016).

Es un hongo micorrízico vesículo- arbuscular (HMVA) que se caracteriza principalmente por las dos estructuras: vesículas y los arbusculos. Las vesículas están compuestas de lípidos que sirven de órganos de almacenamiento de energía y órganos reproductivos; por otro lado, los arbusculos son estructuras finamente ramificadas, intracelulares que sirven para el intercambio de nutrientes con su hospedante (Luna- Quecaño et al., 2020).

Las características principales del hongo *G. iranicum* es que las esporas son pequeñas (8-30 micras de diámetro) y externas a la raíz, debido a ello la esporulación lo realiza en el exterior de las raíces, por ello no obstruyen los pelos absorbentes así evitando el gasto de energía de la planta, además de lo mencionado el hongo puede producir hasta 4 veces más de micelio extramático a comparación de otros hongos formadores de micorrizas, y se caracteriza por su resistencia a condiciones salinas siendo capaz de desarrollarse en suelos de hasta 6 dS/m y pH 4-9 (Pravia, 2023).

Debido al reducido tamaño de las esporas y la gran cantidad de micelio extramatricial, además de su habilidad para reproducirse, cuando se recuperan debido a daños físicos, la cepa puede ser manipulada y molida hasta quedar por debajo de 80 micrómetros, manteniéndose completamente viable en un sustrato de arcilla por más de dos años y demostrando una eficacia demostrada en un intervalo de $1,2 \times 10^4$ a 1×10^8 propágulos contagiosos por cada 100 ml^{-1} de suelo (Cepa de *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* var. *nov* y su uso como bioestimulante, 2016). Cabe señalar que el tipo de arcilla que utiliza el producto comercial es de tipo esmectita, sepiolita y atapulgita dioctaédrica y trioctaédrica todas ellas con una estructura tridimensional y que se componen de un material granular muy fino, compuesto por partículas muy pequeñas con un tamaño inferior a 4 micrómetros, y su principal característica es su capacidad de expansión en sistemas con escasez de agua, ya que puede convertirse en un medio para la multiplicación de hongos de micorrizas (Cepa de *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* var. *nov* y su uso como bioestimulante, 2016) .

El *G. iranicum* puede inducir la capacidad de regular las auxinas, que son las encargadas de estimular el crecimiento de los pelos absorbentes de las raíces. Además, también promueve el aumento de las conexiones entre el hongo y la planta. Como resultado, la planta incrementa su tasa fotosintética para producir más azúcares que puede intercambiar con el hongo, lo que permite mantener la simbiosis beneficiosa entre ambas. (Pravia, 2023).

La función más relevante del *G. iranicum* radica en su capacidad para solubilizar nutrientes del suelo que, por lo general, permanecen inertes, como el zinc (Zn) y el fósforo (P), y así ponerlos a disposición de las plantas, lo que a su vez promueve un aumento en el crecimiento. Adicionalmente, el hongo ofrece una forma de protección frente a patógenos, mientras que la planta le devuelve carbohidratos y proteínas que sustentan su metabolismo. Esta asociación simbiótica permite que ambos organismos aumenten hasta un 25 la producción sin perturbar el hábitat. En ecosistemas frágiles y amenazados, las micorrizas se convierten, por tanto, en los aliados principales para el establecimiento y la supervivencia de las plantas Restrepo et al. 2019).

1.4.2. Colonización de la raíz por el Hongo Micorrízico Versículo Arbuscular

(HMV) Glomus iranicum

La asociación comienza cuando una espora del hongo micorrízico germina y emite una maraña de hifas que se despliegan en busca de una raíz hospedante que produce señales químicas. Estas señales inducen una respuesta en el hongo que se traduce en una morfogénesis diferencial; esto es, una ramificación intensa de las hifas y un aumento en su número. En las etapas más tempranas de la simbiosis arbuscular, flavonoides como la quercetina y varios isoflavonoides fortalecen la comunicación entre las células tanto en campo abierto como en cultivos de laboratorio, y en esos cultivos, actúan además como promotores del crecimiento de las hifas (Sharma & Johri, 2002, como se citó en Camarena-Gutiérrez, 2012).

Durante las primeras fases de establecimiento de la micorriza arbuscular, se registra un pico temporal en la actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa; estas mismas enzimas parecen facilitar la formación del apresorio y su posterior penetración en la raíz huésped. Este aumento en enzimas coincide, además, con una acumulación de ácido salicílico, un compuesto señal que aparece en las rutas de respuesta activa durante las interacciones planta-patógeno (Blilou, Bueno, Ocampo, & García-Garrido, 2000, como se citó en Camarena-Gutiérrez, 2012).

Una posible forma de moderar la reacción defensiva de la planta consiste en bloquear alguno de los pasos de la vía de transmisión de señales que la pone en marcha. En esta ruta, tanto el ácido salicílico como las especies reactivas de oxígeno actúan como segundos mensajeros y, en particular, aparecen durante la interacción con las micorrizas arbusculares. De hecho, la descomposición del H₂O₂ por la catalasa que se expresa en la microscopía arbuscular podría servir a la hifa como un escudo que impide que se activen los genes defensivos de la planta (Van Camp, Van Montagu, & Inzé, 1998, como se citó en Camarena-Gutiérrez, 2012).

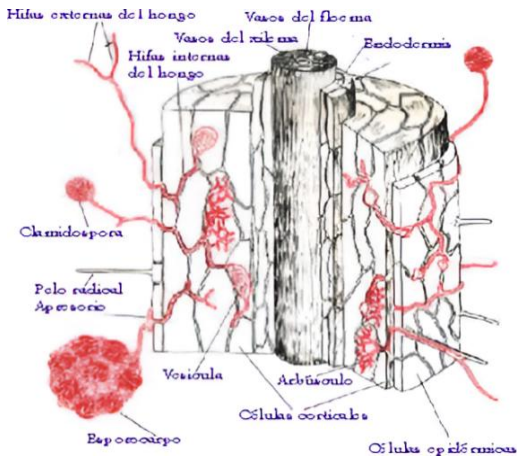
Mientras la hifa del hongo crece, su extremo desarrolla arbuscúlos dentro de determinadas células de la corteza, un proceso que parece depender de un gradiente de carbono creado porque esas zonas están muy cerca de la raíz (Blee & Anderson, 1998, citado en Camarena-Gutiérrez, 2012). La formación de arbuscúlos provoca varios cambios en la célula de la planta, tales como la fragmentación de las vacuolas, el aumento del volumen

del citoplasma y el crecimiento en el número de organelos (Bonfante & Perotto, 1995, como se citó en Camarena-Gutiérrez, 2012).

Figura 1.1

Colonización de hongo micorrícico arbuscular

Fuente: (Ramos y Rosales, 2009, como se citó en Cabrales, 2017)



1.4.3. Transporte de nutrientes planta - Hongo Micorrícico Arbuscular *Glomus iranicum*

El carbono que la planta suministra al hongo cruza a través de dos membranas, la interfaz entre ambos con una secuencia bien delimitada: primero se libera en el espacio periarbuscular, probablemente en forma de sacarosa, y luego esa sacarosa se descompone en hexosas, las cuales atraviesan la membrana fúngica mediante sistemas de transporte específicos. Una vez dentro del citoplasma de la micorriza arbuscular, las hexosas se almacenan como gránulos de glucógeno o como gotas de triglicéridos, moléculas que las hifas utilizan como reservas móviles durante el transporte a larga distancia (Camarena-Gutiérrez, 2012).

El hongo que vive en el suelo obtiene diversos nutrientes, que cruzan su membrana plasmática y luego son llevados hacia las eleveinas intra-radicales, en especial hacia los arbúsculos, antes de atravesar la membrana periarbuscular y entrar al citoplasma de la planta. Allí, el fósforo es movido por los transportadores típicos de ese elemento que hay en la parte externa del micelio, de donde viaja a la raíz en gránulos rodeados por vesículas y finalmente llega a la hifa intra-radical (Camarena-Gutiérrez, 2012). Del mismo modo, el nitrógeno es tomado en la hifa externa por transportadores de amonio, nitrato o aminoácidos y se transfiere, sobre todo, como arginina; dentro de la hifa intra-radical esa arginina se descompone en urea y la urea puede moverse directamente hacia la planta o convertirse después en amonio (Camarena-Gutiérrez, 2012).

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1.Ubicación del experimento

2.1.1. Ubicación política

Departamento : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray
Lugar : Estación Experimental Agraria Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

2.1.2. Ubicación geográfica

Latitud : 13°08'05''S
Longitud : 74°32'00'' O
Altitud : 2735 msnm
Región natural : Quechua

2.1.3. Ubicación ecológica

De acuerdo con el mapa bioclimático de zonas de vida de Holdridge que elaboró en 1986 la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), la estación experimental agrícola (EEA) Canaán se sitúa dentro del bosque seco montano bajo subtropical (bs-MBS).

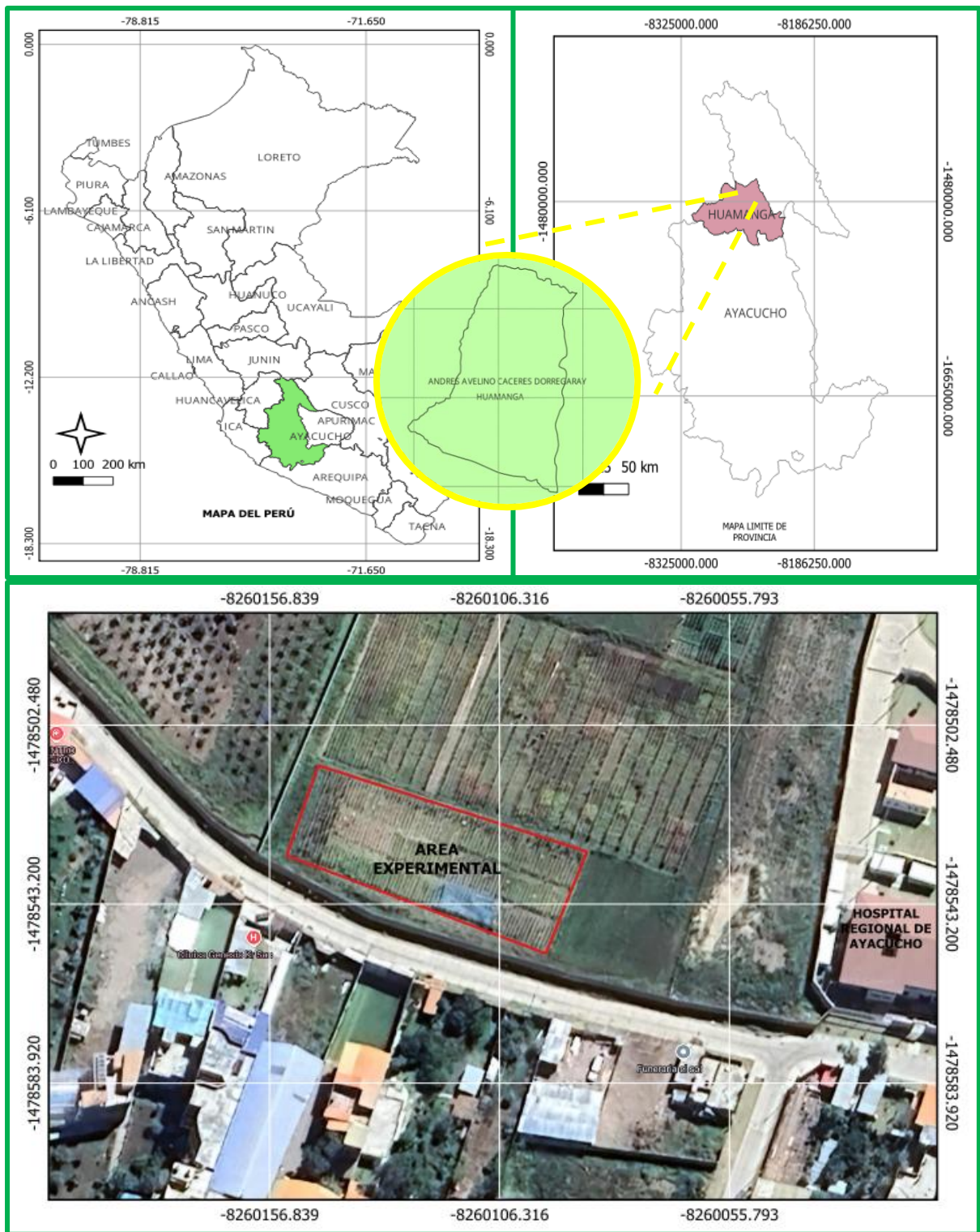


Figura 2.1

Mapa de ubicación de la parcela experimental ubicado en la Estación Experimental Canaán, Ayacucho; elaborado en ArcGIS 10.5 a partir de las fotografías sharfile de GEOGPSERU

2.2. Antecedentes del terreno

El terreno experimental fue una parcela cultivable con 3 años de descanso (2020-2023), anteriormente en este terreno se ha cultivado maíz, papa y quinua.

2.3. Condiciones climáticas

Los valores de condiciones climáticas (temperatura, precipitación, evapotranspiración) fue proporcionado por la Oficina de Operación y Mantenimiento del Sistema Hidráulico Mayor Cachi (OPEMAN).

Tabla 2.1

Resumen climático mensual (temperatura, precipitación y evapotranspiración) de la Estación Experimental de Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria – Campaña 2023-2024

Campaña 2023-2024														
Descripción	UNID.	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Total
T° max	°C	25.74	26.52	25.97	26.43	26.43	25.54	24.84	24.63	24.23	25.74	26.08	24.67	306.8
T°min	°C	7.13	8.12	10.37	12.24	11.94	11.63	11.76	11.43	11.62	9.93	9.31	6.99	122.5
T° med	°C	16.44	17.32	18.17	19.34	19.19	18.59	18.30	18.03	17.93	17.84	17.70	15.83	214.6
Número de días		31	31	30	31	30	31	31	29	31	30	31	30	366
Factor		4.96	4.96	4.8	4.96	4.80	4.96	4.80	4.64	4.96	4.80	4.96	4.80	
Precipitación	mm	0	1.2	17.4	26	42.8	93	80.1	157.8	194.6	21	43.3	17.8	695
ETP mm	mm	81.54	85.91	87.22	95.9	92.09	92.18	87.84	83.66	88.91	85.61	87.77	75.98	1044.8
Factor de corrección		0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	
ETP Ajust	mm	53.8	56.7	57.56	63.3	60.78	60.84	57.97	55.22	58.68	56.5	57.93	50.15	
H del suelo	mm	-53.8	-60.8	-55.6	-37	-13.8	32.16	22.13	102.6	135.9	-17.8	-3.82	-25	
Exceso	mm						32.16	22.13	102.6	135.9				
Déficit	mm	-53.8	-55.5	-40.2	-37.3	-18					-35.5	-14.6	-32.3	

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) se empleó el método que fue propuesto por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN-Perú) La ETP se obtiene multiplicando la temperatura media mensual por el factor respectivo ($ETP = T_m * F_m$), El factor de ajuste mensual presentó un valor constante en la mayoría de los meses (4.96), con ligeras variaciones en algunos casos debido a cambios en número de días por mes. Asimismo, se utilizó un factor de corrección de 0.66, que actúa como constante de ajuste para estandarizar la ETP ajustada de acuerdo con las condiciones locales o la altitud del sitio de estudio. La ETP ajustada se obtuvo multiplicando la ETP calculada por dicho factor de corrección. En relación con la humedad del suelo (H_{suelo}), los valores negativos representan un déficit hídrico acumulado, mientras que los valores de exceso indican que la precipitación ha superado tanto la ETP ajustada como la capacidad de retención del suelo, ocurriendo cuando la humedad edáfica alcanza su punto de saturación.

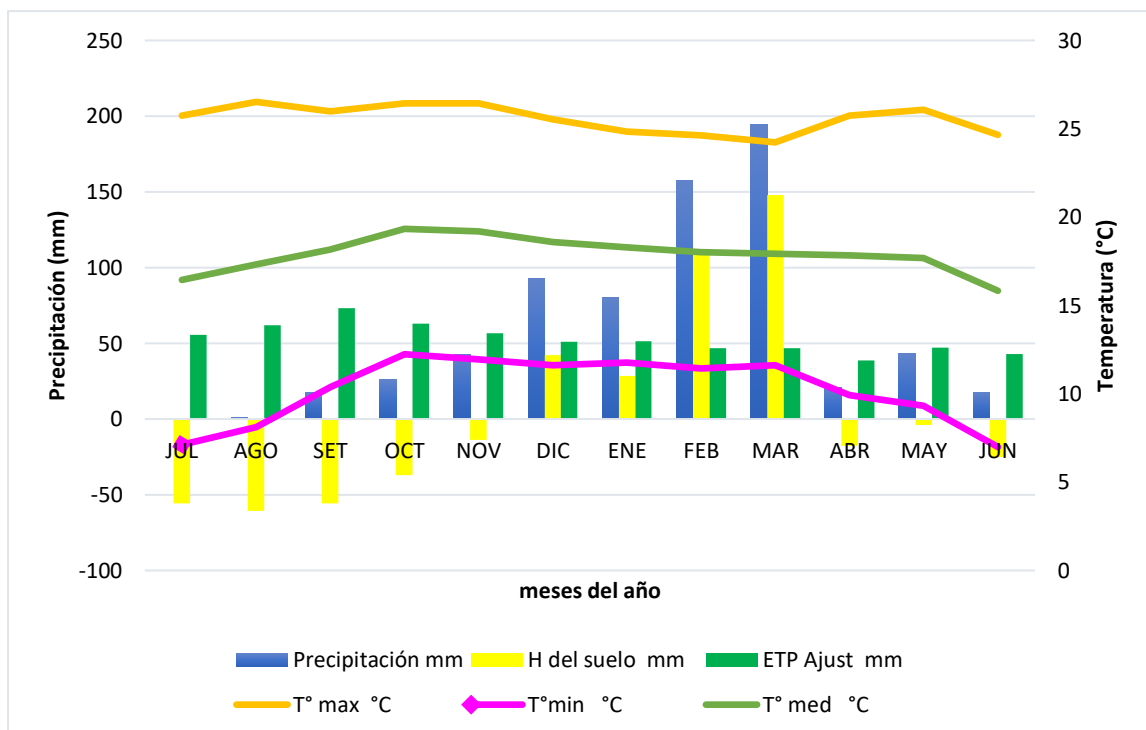


Figura 2.2

Climograma de referencia para la Estación Experimental Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria- campaña 2023-2024

2.4. Características físico-químicos del suelo

Se tomó muestras de 20 cm de profundidad, donde se obtuvo una muestra representativa lo cual se llevó al laboratorio de suelos, aguas y foliares de la Estación Experimental Canaán (LABSAF – CANAÁN) del Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria (INIA), cuyos resultados e interpretación se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2

Interpretación de los resultados del suelo de la parcela experimental en Canaán

Descripción	Valores	Unidad	Interpretación
pH	7.8	–	Ligeramente Alcalino
M.O	2.3	%	Medio
Nt	0.115	%	Medio
P	15.79	ppm	Medio
K	380.26	ppm	Muy Alto
CICe	46.48	meq/100g	Muy Alto
Arena	40	%	
Limo	46	%	
Arcilla	14	%	
Clase textural	-	-	Franco
C.E	0.131	dS/c m	Medio
Ca ⁺⁺	37.63	meq/100g	Alto
Mg ⁺⁺	6.1	meq/100g	Alto
K ⁺	1.99	meq/100g	Alto
Na ⁺	0.46	meq/100g	Normal

Nota: Reporte de análisis de caracterización del suelo, por el laboratorio de suelo, agua y foliares de EEA Canaán

2.5. Materiales

2.5.1. Material genético

El material genético fue conformado por los microorganismos *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* que se detallan más adelante, y de cuatro variedades de quinua, procedentes del Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria (INIA), mencionadas en el siguiente:

- **Blanca de Junín.** La variedad blanca de Junín, procedente de la región Junín, fue desarrollada por la Universidad Nacional del Centro del Perú y se adapta favorecidamente a los pisos ecológicos de valles interandinos ubicados hasta

3,500 msnm (Apaza *et al.* 2013). Hoy en día, la variedad Blanca de Junín se cultiva de forma intensiva en el Valle del Mantaro y ha comenzado a ganar presencia en Antapampa, Cusco, y en varias zonas de Ayacucho. Se distingue por su notable resistencia al mildiu (*Peronospora variabilis*), tiene un período vegetativo que oscila entre 180 y 200 días, y produce granos de tamaño medio, en torno a 2.5 milímetros. La planta alcanza de 1.60 a 2.00 metros de altura y, dependiendo de la fertilidad del suelo, los rendimientos pueden llegar hasta 2,500 kilogramos por hectárea (Quispe, 2016). Por otra parte, la misma variedad presenta crecimiento herbáceo, ramificándose solo en el tercio superior; su ciclo es ligeramente más corto, entre 160 y 180 días, y mide de 1.50 a 1.70 metros. Las panojas, de forma glomerulada, miden entre 33.40 y 48.50 centímetros de largo, con un diámetro que varía de 7.80 a 9.30 centímetros; el grano mide 2.20 milímetros de diámetro y cada planta aporta entre 35.50 y 40.10 gramos de semilla. Por último, el peso de mil granos está entre 2.10 y 3.80 gramos (Apaza *et al.* 2013).

Según Apaza *et al.* (2013) indican que, desde la siembra, las plántulas emergen en siete días, la panoja aparece alrededor de los setenta y cinco días, la floración se registra a uno ciento treinta y la madurez fisiológica se alcanza cerca de uno ciento setenta días. Desde siembra la panoja aparece cerca de setenta y cinco días, la floración a uno ciento treinta, y la madurez fisiológica a uno ciento setenta.

Blanca de Junín es sensible a temperaturas bajas, muestra tolerancia moderada a la sequía y resiste condiciones de elevada humedad.

b) INIA 441 Señor del Huerto. Esta variedad de quinua se originó en Ayacucho y fue oficialmente liberada el 11 de noviembre de 2020 por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). El lanzamiento formó parte de las actividades del Programa Nacional de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas, que desarrolla esta línea en la Estación Experimental Agraria Canaán. Señor del Huerto se siembra entre los 2800 y 3600 metros sobre el nivel del mar y muestra resistencia comprobada al mildiu (AgroPerú, 2020).

“ofrece una producción de 2.95 a 3.20 t/ha, es resistente a la plaga del mildiu, tiene granos blancos con diámetro de 2.03 mm y altas proteínas (11.02%) con presencia de aminoácidos esenciales, como la lisina (13.91 mg)” (Nuevas variedades de

quinua y kiwicha tienen alto contenido de vitaminas y proteínas, s. f.).

- c) **INIA 415 Pasankalla.** Originario del departamento de Puno, el Instituto Nacional de Innovación Agraria, Estación Experimental Agraria Illpa Puno (INIA) liberó en 2006 esta variedad; su adaptación óptima se encuentra en la zona agroecológica Suni del altiplano, entre 3800 y 3900 msnm, donde predominan un clima frío y seco, precipitaciones de 400 a 550 mm y temperaturas que oscilan entre 4 °C y 15 °C, en suelos franco o franco-arenosos con pH de 5,5 a 8,0. También muestra buena adaptación en los valles interandinos, entre 2750 y 3750 msnm, y en la costa, desde 640 hasta 1314 msnm, siempre que las temperaturas máximas en suelo franco-arenoso no superen 24-25 °C. (Apaza et al. 2013).

La variedad Pasankalla se caracteriza por un crecimiento herbáceo y, en los valles interandinos, completa su ciclo vegetativo en aproximadamente 120 días; alcanza alturas de entre 1,20 m y 1,40 m, la panoja presenta una estructura glomerulada, el perigonio es púrpura, el pericarpio tiene el tono de un gris claro y el episperma muestra un color vino oscuro, mientras que el diámetro del grano promedia 2,10 mm y la harina contiene, de media, un 17,83 % de proteínas (Bendezú, 2018).

- d) **INIA 420 Negra Collana.** La variedad Negra Collana se originó en el departamento de Puno, y fue liberada en 2008 por el Instituto Nacional de Innovación Agraria, a través de la Estación Experimental Agraria Illpa de esa región. Este cultivar se adapta mejor a la zona agroecológica Suni del altiplano, entre 3 800 y 3 900 msnm, donde predominan un clima frío y seco, una lluvia anual que oscila de 400 a 550 mm y temperaturas que varían de 4 °C a 15 °C, en suelos de textura franco o franco arenoso con un pH de 5,5 a 8,0. Sin embargo, también puede cultivarse en los valles interandinos y hasta en la costa peruana (Apaza et al. 2013).

La variedad Negra Collana presenta crecimiento herbáceo y un ciclo vegetativo de aproximadamente 115 días en valles interandinos; alcanza entre 1,20 y 1,30 centímetros de altura. La panoja tiene una forma glomerulada, el perigonio es verde, el pericarpio aparece gris, la episperma brilla en negro y el perisperma es blanco. El diámetro del grano es de 1,60 milímetros y su contenido proteico se

cifra en 17,62 por ciento (Bendezú, 2018).

2.5.2. *Tratamientos*

Los 16 tratamientos resultan de la combinación de los niveles de las variables independientes (factores), *A. brasilense* (dos niveles), *G. iranicum* (dos niveles) y variedades de quinua (cuatro niveles) se muestra en la Tabla 2.3.

Las combinaciones de microorganismos son:

Te: Testigo (sin microorganismos)

Az: Tratamiento con *A. brasilense* en forma sólida “turba” (1.56 kg/ha) y en forma líquida (1.17 l/ha), se aplicó antes de la siembra a una concentración de 1.0×10^8 UFC /g/ml, más dosis de refuerzo en forma líquida (1.15 l/ha) aplicado en estado de panojamiento.

Gl: Tratamiento con *G. iranicum* (3 kg/ha), se aplicó en el aporque.

Az + Gl: Tratamiento con *A. brasilense* más *G. iranicum* (1.56 kg/ha y 1.17 l/ha de *A. brasilense* + 3 kg/ha de *G. iranicum*)

Tabla 2.3

Tratamientos de cuatro variedades de quinua con Azospirillum brasilense y Glomus iranicum

	Tratamiento	Parcela	Combinaciones	Subparcela
				Variedades de quinua
t ₀₁	V ₁	INIA 441 Señor del Huerto	Te	<i>Azospirillum brasilense - Glomus iranicum</i> Testigo (sin microorganismos)
t ₀₂	V ₁	INIA 441 Señor del Huerto	Az	<i>Azospirillum brasilense</i>
t ₀₃	V ₁	INIA 441 Señor del Huerto	Gl	<i>Glomus iranicum</i>
t ₀₄	V ₁	INIA 441 Señor del Huerto	Az + Gl	<i>Azospirillum brasilense + Glomus iranicum</i>
t ₀₅	V ₂	Blanca de Junín	Te	Testigo (sin microorganismos)
t ₀₆	V ₂	Blanca de Junín	Az	<i>Azospirillum brasilense</i>
t ₀₇	V ₂	Blanca de Junín	Gl	<i>Glomus iranicum</i>
t ₀₈	V ₂	Blanca de Junín	Az + Gl	<i>Azospirillum brasilense + Glomus iranicum</i>
t ₀₉	V ₃	INIA 415 Pasankalla	Te	Testigo (sin microorganismos)
t ₁₀	V ₃	INIA 415 Pasankalla	Az	<i>Azospirillum brasilense</i>
t ₁₁	V ₃	INIA 415 Pasankalla	Gl	<i>Glomus iranicum</i>
t ₁₂	V ₃	INIA 415 Pasankalla	Az + Gl	<i>Azospirillum brasilense + Glomus iranicum</i>
t ₁₃	V ₄	INIA 420 Negra Collana	Te	Testigo (sin microorganismos)
t ₁₄	V ₄	INIA 420 Negra Collana	Az	<i>Azospirillum brasilense</i>
t ₁₅	V ₄	INIA 420 Negra Collana	Gl	<i>Glomus iranicum</i>
t ₁₆	V ₄	INIA 420 Negra Collana	Az + Gl	<i>Azospirillum brasilense + Glomus iranicum</i>

2.6. Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron según un diseño de parcelas divididas que se condujo dentro de un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones (Cochran y Cox, 1990); en este esquema, las parcelas fueron asignadas a las cuatro variedades de quinua, mientras que las subparcelas recibieron una de las cuatro combinaciones de *A. brasilense* y *G. iranicum*.

El modelo aditivo lineal utilizado en el análisis es el siguiente:

:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_l + V_i + (VR)_{il} + A_j + G_k + (VA)_{ij} + (VG)_{ik} + (AG)_{jk} + (VAG)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl}	: Observación
μ	: Promedio general
R_l	: Efecto del l ésimo bloque
V_i	: Efecto de la i ésima variedad
$(VR)_{il}$: Efecto de la interacción V x R (Error a)
A_j	: Efecto del j ésimo nivel de <i>Azospirillum</i>
G_k	: Efecto del k ésimo nivel de <i>Glomus</i>
$(VA)_{ij}$: Efecto de la interacción V x A
$(VG)_{ik}$: Efecto de la interacción V x G
$(AG)_{jk}$: Efecto de la interacción A x G
$(VAG)_{ijk}$: Efecto de la interacción V x A x G
ε_{ijkl}	: Error experimental (Error b)

2.7. Diseño del campo experimental

2.7.1 Características de la unidad experimental

Las características y dimensiones de cada unidad experimental (UE) se muestran en la Tabla 2.4 de manera detallada

Tabla 2. 4*Dimensiones de la parcela experimental*

Descripción	Unidad	Medida
Ancho de la UE	m	4
Largo de la UE	m	3.2
Área de la UE	m ²	12.8
Número de surcos/UE	unidades	4
Distancia entre surcos	m	0.8
Largo del bloque	m	51.2
Ancho del bloque	m	4
Área de cada bloque	m ²	204.8
Número de bloques	unidades	3
Número de parcelas por bloque	unidades	16
Número de calles	unidades	3
Largo de calle	m	51.2
Ancho de calle	m	2
Área total de campo experimental	m ²	921.6

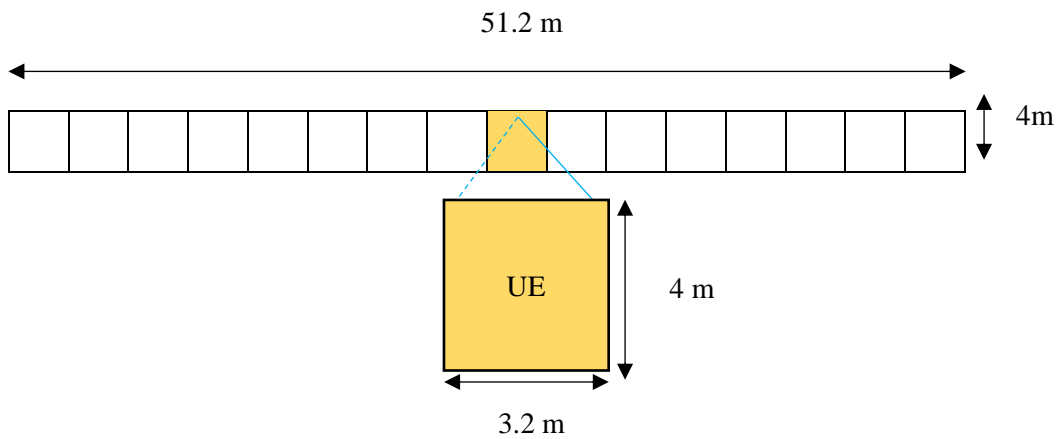
BLOQUE I**Figura 2.3***Representación gráfica del bloque experimental y la unidad experimental*



Figura 2.4

Croquis y distribución del campo experimental

2.8. Instalación y conducción del campo de experimento

La instalación y manejo se realizó durante la campaña grande entre los meses de noviembre de 2023 a mayo de 2024

2.8.1. Preparación del suelo y apertura de surcos

La preparación de terreno se realizó el 15 de noviembre del 2023, con la ayuda del tractor mecánico con arado de disco a una profundidad de 40 cm, posteriormente se realizó el gradeo con rastra de disco para desmenuzar los terrones y luego se realizó nivelado del terreno. Así mismo, al día siguiente se realizó la apertura de surcos a un distanciamiento de 0.80 m entre surcos.

2.8.2. Replanteo del diseño experimental

Se realizó el 24 de noviembre conforme al diseño experimental (croquis dibujado), se delimitó los bloques distribuyéndolas con sus respectivas calles, se usó flexómetro de 100 m, estacas y ayuda de los asesores y amigos.

2.8.3. Abonamiento

Se realizó de acuerdo a las recomendaciones que obligó a utilizar solamente abono orgánico para que no exista alteración en la función de los microorganismos benéficos, por lo mencionado se utilizó el abono Mallki como abono de fondo en chorro continuo, se usaron 175 kg de Mallki en todo el campo experimental.

2.8.4. Pesado de semillas de quinua

Se realizó el mismo día de siembra el 27 de noviembre del 2023, usando 13 kg de semilla de quinua/ hectárea, se utilizó 252 g de semillas por variedad y 21 g por unidad experimental lo cual se separó en bolsitas y vasos para su respectiva inoculación según al diseño de tratamientos.



Figura 2.5

Semillas de cuatro variedades de quinua, agrupadas con su respectivo tratamiento

2.8.5. Inoculación de semillas de quinua con *Azospirillum brasilense*

Se realizó mismo día de la siembra utilizando inoculantes tanto en forma sólida y líquida. Las semillas pesadas que fueron inoculadas pasaron por el siguiente proceso:

- Primero el *A. brasilense* en forma solida (4g) se colocó en un recipiente (taper) para la inoculación
- Luego se echó el *A. brasilense* en forma líquida (3ml) y se removió constantemente formando una mezcla y se añadió la goma arábica(15ml).
- Enseguida se incorporó las semillas de quinua (126 g) (tratamiento de *A. brasilense* y *A. brasilense* + *G. iranicum*) combinando con la mezcla de inoculante
- Finalmente se añadió 50 g de dolomita para peletizar esto con la finalidad de proteger la semilla inoculada

- Posteriormente se llevó al campo de experimento



Figura 2.6

Fotografías de la inoculación de las semillas de quinua con A. brasilense

2.8.6. Siembra

La siembra se realizó el 27 de noviembre del 2023, en la tarde aproximadamente 4:00 pm para no estresar al *A. brasilense* por las condiciones de temperatura y radiación solar, la forma de siembra fue por chorro continuo y se tapó con restos de vegetales de la zona ya que la quinua es un cultivo que exige el tapado de semillas superficial.

2.8.7. Labores culturales

- a) **Riego.** El primer riego se realizó el 29 de noviembre del 2023, el riego fue por gravedad y posteriormente se regó dos veces por semana dependiendo de la disponibilidad del agua y las condiciones de humedad del campo.

b) Deshierbo

- Primer deshierbo

Se realizó 31 días después de la siembra, el 19 de diciembre de 2023 se retiró malezas que compiten por los nutrientes y radiación

- Segundo deshierbo

Se realizó el 9 de enero de 2024 ya que las malezas tenían alta incidencia se optó por realizar un segundo deshierbo.

- c) **Raleo.** Se realizó del 15 al 17 de enero del 2024 dejando de 15 a 20 plantas por metro lineal, con el fin de reducir la densidad de población de plantas.
- d) **Aporque.** El aporque se realizó el 24 de enero de 2024, utilizando herramientas de labranza como azadones con la finalidad de dar una buena estabilidad y evitar enfermedades en la raíz de la planta
- e) **Control fitosanitario.** El primer control fitosanitario se realizó el 12 de diciembre de 2023 como medida preventiva al ataque de mildiu e insectos cortadores y abonamiento foliar. Para el control se utilizó Ridomil Gold MZ 50 g, Regent SC 20 ml, y como abono foliar se utilizó Bayfolan activeitor XL 50 ml y adherente tripe AAA 38 ml; todo ello se preparó para una mochila fumigadora de 20 litros y se aplicó a las plantas de quinua.

2.8.8. Aplicación de *Glomus iranicum*

Se realizó el 02 de febrero de 2024 a las 8 am, el día estuvo nublado la aplicación de *G. iranicum* se realizó de la siguiente manera

- Primero se calculó la cantidad de producto comercial MYCOUP a usar en el experimento que fue de 384 g de producto y se realizó el pesado respectivo.
- Seguidamente se calculó la cantidad de agua que se debería de utilizar para diluir el producto que fue de 192 litros de agua.
- Posteriormente se trasladó el agua de caño desde la estación hasta el campo de experimento.
- Se diluyó el producto con la cantidad requerida de agua, ya que se utilizó baldes de 20 litros.
- Luego, se depositó la solución en botellas que tenían la tapa hecha artesanalmente en salida de un chisquete.
- Finalmente se roció al cuello de las plantas de quinua según al diseño del experimento



Figura 2.45

Fotografías del pesado, disolución y aplicación de G. iranicum a las plantas de quinua

2.8.9. Cosecha

La cosecha fue escalonada ya que las variedades de quinua fueron madurando desigual, se inició con la variedad INIA 415 Pasankalla que se cosechó el día 02 de mayo, seguido de la variedad INIA 420 Negra Collana que se cosechó el 6 de mayo y finalmente las variedades restantes se cosecharon el 14 de mayo de 2024 la cosecha comprende desde la ciega en que se utilizó la segadera, posteriormente la trilla se realizó manualmente frotando las panojas en rocas.

2.9. Métodos y criterios de evaluación

2.9.1. Materiales

Se utilizó los siguientes materiales para la evaluación

- Descriptor de quinua impresa
- Vernier
- Tijeras de podar
- Cámara fotográfica
- Balanza analítica
- Horno
- Lapiceros
- Flexómetro
- Libreta de campo
- Estacas pequeñas
- Cinta adherente
- Bolsas de plástico y papel

2.9.2. Parámetros de evaluación

a. Caracteres de crecimiento

- **Altura de planta (cm).** Se tomó la medida en la madurez fisiológica, desde el cuello de planta hasta el último nudo del tallo donde se sostiene o emerge la panoja, tomadas en 10 plantas al azar por unidad experimental
- **Longitud de panoja (cm).** Referida a la longitud de panoja principal, medida desde el nudo de sostén de la panoja al extremo. Serán evaluaron 10 plantas al azar por parcela.
- **Diámetro de panoja (cm).** Se tomó la medida en 10 panojas de cada unidad experimental en la parte más ancha de la panoja
- **Diámetro de tallo (mm).** En este carácter se midió en el tercio inferior del tallo de 10 plantas de cada unidad experimental, con la ayuda del vernier.
- **Madurez fisiológica (días).** Se tomó los datos desde la siembra hasta el día en que la quinua obtuvo la madurez fisiológica en grano pastoso.
- **Longitud central de glómulo (cm).** De 10 plantas de cada unidad experimental se tomó con un vernier la longitud central del glómulo 5 submuestras de cada panoja y se promedió.
- **Diámetro de glómulo (mm).** De 10 plantas de cada unidad experimental se tomó con un vernier el diámetro del glómulo 5 submuestras de cada panoja y se promedió.
- **Madurez de cosecha (días).** Se tomó los datos desde la siembra hasta el día en que la quinua obtuvo la madurez de cosecha con las características respectivas.

b. Caracteres de rendimiento

- **Peso de panoja (g/panoja).** Con la ayuda de una tijera de podar se cortó solamente la panoja de 10 plantas de cada UE y se procedió a pesar en una balanza analítica en el laboratorio.
- **Peso de grano por panoja (g).** Se trilló cada panoja a una respectiva bolsa, se retiró la broza y se pesó el grano por cada panoja de 10 plantas
- **Peso de 1000 semillas (g/planta).** se contó 50 semillas por cada panoja de 10 plantas por UE y se pesó en una balanza analítica, luego se calculó al peso de

1000 semillas

- **Rendimiento de grano (t/ha).** Se obtuvo mediante cálculos de peso de grano por panoja y el tamaño de la parcela, interpretado en hectáreas kg/ha
- **Diámetro de grano (mm).** Se realizó con la ayuda del vernier, se obtuvo 3 submuestras de cada planta, se utilizó 10 quinuas por UE
- **Peso hectolítico (kg/hL⁻¹).** Se realizó con la ayuda de una balanza hectolítica, en el laboratorio del Programa de Pastos y Ganadería.
- **Índice de Cosecha (%).** Se obtuvo el Índice de Cosecha por tratamiento mediante la relación, del rendimiento de grano entre el peso seco total.

$$I.C = (\text{Rendimiento de grano/ peso seco total}) \times 100$$

- **Biomasa (g/planta).** Se pesó una muestra representativa de 3 plantas por unidad experimental a la madurez fisiológica, luego se expresó en g/planta (peso seco).

c. Caracteres de desarrollo de la raíz

- **Volumen de raíz (Cm³/planta).** Se obtuvo el volumen de raíz de una muestra de 10 plantas medido por la diferencia de volúmenes en la inmersión de la raíz en una probeta de 500 ml con agua:

$$VR (cm^3/planta) = \text{Volumen final} - \text{Volumen inicial}$$

- **Peso seco de raíz (g/planta).** Las 10 raíces se colocaron en una bolsa de papel y se colocó al horno a 105 °C durante 24 horas.
- **Longitud de raíz (cm).** Se midió con la ayuda de una regla de medida de 10 raíces por UE
- **Diámetro de raíz (mm).** Se tomó la medida en el cuello de 10 raíces por UE.
- **Nº de ramificaciones (unidades).** Se contó la cantidad de raíces primarias en 10 muestras de quinua.

2.10. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en base a análisis de variancia, pruebas de contraste de Tukey al nivel de significación 0.05, considerando la metodología del diseño parcelas divididas y la forma usual del Diseño Bloques Completos al Azar.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Crecimiento

3.1.1. Altura de planta

Tabla 3.1

Análisis de variancia para la altura de planta con *A. brasilense* y *G. iranicum* en cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	554.27	277.13	3.53	0.0795
Variedad	3	17479.55	5826.52	74.28	<0.0001**
Error (a)	8	627.50	78.44		
<i>Glomus</i>	1	463.80	463.80	6.00	0.0220*
<i>Azospirillum</i>	1	619.83	619.83	8.02	0.0092**
Variedad x <i>Glomus</i>	3	768.50	256.17	3.31	0.0370*
Variedad x <i>Azospirillum</i>	3	625.84	208.61	2.70	0.0683
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	1	566.83	566.83	7.33	0.0123*
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	3	984.89	328.30	4.25	0.0153*
Error (b)	24	1855.32	77.30		
Total	47	22358.68			

CV (%) = 10.22 Promedio = 86.07

El análisis de variancia para la altura de planta (Tabla 3.1); indica que existen diferencias altamente significativas en el efecto principal de la Variedad y *Azospirillum brasilense* (p-valor <0.01); además, se determinó diferencias significativas en el efecto principal del *Glomus iranicum* (p-valor<0.05), en la interacción de *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor<0.05) y en la de interacción triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor= 0.05). Por otra parte no se encontró diferencia significativa entre bloques y en el efecto de interacción Variedad x *Azospirillum* (p-valor > 0.05). El coeficiente de variación fue de 10.22 %, que es considerado un valor medio con una confiabilidad aceptable en trabajos en campo además de indicar un adecuado control de factores no considerados en el estudio (Gordón-Mendoza & Camargo- Buitrago, 2015).El promedio general de la

altura de planta fue de 86.07 cm.

Tabla 3.2

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en la altura de planta de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (cm)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			106.31		a	5.24
Blanca de Junín			103.33		a	
Roja Pasankalla			72.10		b	
Negra Collana			62.53		b	
		0	84.75	100	a	5.24
		1	87.39	103	a	
	0		83.83	100	a	5.24
	1		88.30	105	a	
Señor del Huerto		0	104.08	100	a	16.81
		1	108.54	104	a	
Blanca de Junín		0	101.07	100	a	
		1	105.58	104	a	
Roja Pasankalla		0	75.51	100	b	
		1	68.69	91	b c	
Negra Collana		0	58.33	100	c	
		1	66.73	114	b c	
Señor del Huerto	0		101.25	100	a	16.81
	1		111.38	110	a	
Blanca de Junín	0		99.58	100	a	
	1		107.07	108	a	
Roja Pasankalla	0		71.40	100	b	
	1		72.80	102	b	
Negra Collana	0		63.10	100	b	
	1		61.97	98	b	
	0	0	80.54	100	a	9.90
	1	0	88.95	110	a	
	0	1	87.13	108	a	
	1	1	87.65	109	a	
Señor del Huerto	0	0	97.83	100	a	b c 27.32
	1	0	110.33	113	a	
	0	1	104.67	107	a	b
	1	1	112.42	115	a	
Blanca de Junín	0	0	91.17	100	a	b c d
	1	0	110.97	122	a	
	0	1	108.00	118	a	
	1	1	103.17	113	a	b
Roja Pasankalla	0	0	70.90	100		c d e
	1	0	80.12	113		b c d e
	0	1	71.90	101		c d e
	1	1	71.95	101		d e
Negra Collana	0	0	62.27	100		e
	1	0	54.40	87		e
	0	1	63.93	103		d e
	1	1	69.53	112		d e

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La altura de planta para el cultivo de quinua es variable pues depende del genotipo, la densidad de siembra, fertilización y las condiciones del cultivo (Mujica, 1993 como se citó en Bolo, 2019). La altura de planta varía desde 110 hasta 200 cm en caso de quinua (Apaza et al., 2013). La comparación Tukey (Tabla 3.2) indica valores promedio que comprenden desde 62.53 (cm) hasta 106.31 (cm), para las variedades INIA 420 Negra Collana y 441 Señor del Huerto respectivamente; además la variedad Señor del huerto y Blanca de Junín tienen diferencia estadística con las variedades Roja Pasankalla y Negra Collana. Según menciona Apaza *et al.*, (2013) la variedad Negra Collana alcanza una altura de 1.20 a 1.30 cm en pisos altitudinales de 3800 y 3900 msnm, con clima frío y seco, además requiere temperaturas de 4°C a 15 °C; al respecto conviene decir que la quinua Negra Collana no se adaptó a las condiciones altitudinales y climáticas de Canaán. Por otro lado, la quinua INIA 441 Señor del Huerto es propio de Huamanga y tuvo un efecto favorable.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de la altura de planta en la variedad Señor del Huerto, de 13 % con *A. brasilense*, 7 % con *G. iranicum* y 15 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, sin embargo, las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó la altura de planta en 22 % con *A. brasilense*, 18 % con *G. iranicum* y 13 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó la altura de planta en 13 % con *A. brasilense*, 1 % con *G. iranicum* y en 1 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana redujo la altura de planta en 13 % con *A. brasilense*, se incrementó en 3 % con *G. iranicum* y 12 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo.

El aumento en la altura de las plantas se atribuye a la acción de *Azospirillum brasilense*, que favorece la división y alargamiento celular por la producción de ácido indol-3-acético (AIA) (Paredes, 2013), por su parte, *Glomus iranicum* disocia y vuelve solubles nutrientes que normalmente son poco móviles en el suelo, como zinc y fósforo, de modo que la

planta puede acceder a ellos y experimentar un crecimiento más robusto (Restrepo et al., 2019).

Luna (2021) en una investigación con la aplicación de 300 g *Glomus* en condiciones de Puno, obtuvo 154 cm en la variedad Pasankalla, valor superior a los resultados del presente ensayo.

Además se ha reportado en una investigación con microorganismos rizosféricos 114.9 cm de altura de planta, valor casi similar a lo obtenido en el presente investigación (Bolo, 2019).

3.1.2. Longitud de panoja

Tabla 3.3

Análisis de variancia para la longitud de panoja con A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	771.58	2	385.79	7.67	0.0138*
Variedad	2708.2	3	902.73	17.94	0.0007**
Error (a)	402.59	8	50.32		
<i>Glomus</i>	1351	1	1351	37.48	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	1740.09	1	1740.09	48.27	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	662.47	3	220.82	6.13	0.003**
Variedad x <i>Azospirillum</i>	938.7	3	312.9	8.68	0.0004**
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	659.49	1	659.49	18.29	0.0003**
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	698.93	3	232.98	6.46	0.0023**
Error (b)	865.2	24	36.05		
Total	7231.4	47			

CV (%) = 10.67 Promedio = 56.28

El análisis de variancia para la longitud de panoja se muestra en la (Tabla 3.3); indica que existen diferencias altamente significativas en los efectos principales de la Variedad, *Glomus* y *Azospirillum* (p-valor < 0.01); además, se determinó diferencias significativas en el efecto principal entre Bloques (p-valor < 0.05), en la interacción de Variedad x *Glomus*, Variedad x *Azospirillum*, *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor < 0.05), y en la interacción triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor < 0.05), El coeficiente de variación fue de 10.67 % que es permitido en trabajos en campo además de indicar un adecuado control de factores no considerados en el estudio (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015). El promedio general de la longitud de panoja fue de 56.28 cm.

Tabla 3.4

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en la longitud de panoja de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (cm)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del huerto			62.53	12	a	9.27
Blanca de Junín			63.38	12	a	
Roja Pasankalla			54.44	12	a	
Negra Collana			44.75	12	b	
		0	52.38	100	b	3.58
		1	60.18	115	a	
	0		61.11	100	a	3.58
	1		51.45	84	b	
Señor del huerto		0	57.34	100	a b c	11.48
		1	67.71	118	a	
Blanca de Junín		0	59.60	100	a b	
		1	67.17	113	a	
Roja Pasankalla		0	50.39	100	b c d	
		1	58.50	116	a b c	
Negra Collana		0	42.18	100	d	
		1	47.33	112	c d	
Señor del huerto	0		53.31	100	c	11.48
	1		71.75	135	a	
Blanca de Junín	0		59.60	100	b c	
	1		67.16	113	a b	
Roja Pasankalla	0		51.79	100	c d	
	1		57.10	110	b c	
Negra Collana	0		41.09	100	d	
	1		48.42	118	c d	
	0	0	46.65	100	c	6.76
	1	0	58.10	125	a b	
	0	1	56.24	121	b	
	1	1	64.11	137	a	
Señor del huerto	0	0	46.94	100	c d e	18.65
	1	0	67.75	144	a b	
	0	1	59.68	127	a b c d	
	1	1	75.75	161	a	
Blanca de Junín	0	0	55.03	100	b c d e	
	1	0	64.16	117	a b c	
	0	1	64.18	117	a b c	
	1	1	70.16	127	a b	
Roja Pasankalla	0	0	45.14	100	d e	
	1	0	55.63	123	b c d e	
	0	1	58.43	129	a b c d	
	1	1	58.57	130	a b c d	
Negra Collana	0	0	39.50	100	e	
	1	0	44.86	114	d e	
	0	1	42.68	108	d e	
	1	1	51.97	132	b c d e	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. iranicum*. El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La longitud de panoja varía dependiendo de la variedad empleada y es relacionado con el rendimiento final del cultivo Borda (2013 como se citó en Bolo, 2019). La prueba de Tukey (Tabla 3.4), indica valores promedio que comprenden desde 44.75 (cm) hasta 63.38 (cm), para las variedades INIA 420 Negra Collana y Blanca de Junín respectivamente; además la variedad Negra Collana tienen diferencia estadística a las variedades restantes siendo la variedad con menor tamaño de panoja (44.75 cm). Según Apaza et al. (2013), el tamaño de la panoja de la variedad Blanca de Junín es de 33.40 cm – 48.50 cm, mencionado anteriormente la longitud de panoja supera y es positivo la aplicación de microorganismos benéficos.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de la longitud de panoja en la variedad Señor del Huerto, de 13 % con *A. brasilense*, 7 % con *G. iranicum* y 15 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, además, las longitudes de panoja incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó la longitud de panoja en 17% con *A. brasilense*, 17 % con *G. iranicum* y 27 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, además, las longitudes de panoja incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó la longitud de panoja en 23 % con *A. brasilense*, 29 % con *G. iranicum* y 30 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las longitudes de panoja incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó la longitud de panoja en 14 % con *A. brasilense*, 8 % con *G. iranicum* y 32 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las longitudes de panoja incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo.

Quispe (2023), en la variedad Señor del Huerto con la aplicación de *A. brasilense* y *G. iranicum* (interacción), obtuvo 67.72 cm; por lo tanto, se afirmó que la aplicación de microorganismos fue benéfica y resultó positiva en el experimento, siendo los resultados superiores por la acción del *A. brasilense*, que contribuyó a la síntesis de auxinas y se tradujo en el incremento del tamaño de la panoja (Domingues et al., 2020). De igual manera, el *G. iranicum* intervino en la mejora de la fotosíntesis mediante la simbiosis (Becerra & Cabello, 2007). Por otra parte, el menor resultado lo obtuvo la variedad INIA 420 Negra Collana (sin *Azospirillum* y sin *Glomus*), con 39.5 cm de longitud de panoja.

3.1.3. Diámetro de panoja

Tabla 3.5

Análisis de variancia para el diámetro de panoja con A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	8.39	2	4.2	1.2	0.35
Variedad	249.24	3	83.08	23.77	0.0002**
Error (a)	27.96	8	3.49		
<i>Glomus</i>	64.28	1	64.28	30.98	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	99.26	1	99.26	47.83	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	14.61	3	4.87	2.35	0.098
Variedad x <i>Azospirillum</i>	32.26	3	10.75	5.18	0.0067**
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	18.09	1	18.09	8.72	0.0069**
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	21.1	3	7.03	3.39	0.0344*
Error (b)	49.81	24	2.08		
Total	513.32	47			

CV (%) = 17.48, Promedio = 8.24

El análisis de variancia para el diámetro de panoja se muestra en la (Tabla 3.5); indica que existen diferencias altamente significativas en los efectos principales de la Variedad, *Glomus* y *Azospirillum* (p-valor < 0.01); además, se determinó diferencia significativa en la interacción doble de Variedad x *Azospirillum* y *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor < 0.05), y en la interacción triple variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor < 0.05). Por otra parte, no existe diferencia significativa en el efecto principal de Bloques y en el efecto doble de variedad x *Glomus* (p-valor > 0.05). El coeficiente de variación fue de 17.48 %, que es considerado un valor medio con una confiabilidad aceptable en trabajos en campo además de indicar un adecuado control de factores no considerados en el estudio (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015). El promedio general del diámetro de panoja fue de 8.24 cm.

Tabla 3.6

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el diámetro de panoja de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (cm)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			7.30		b c	2.44
Blanca de Junín			8.33		b	
Roja Pasankalla			11.79		a	
Negra Collana			5.55		c	
		0	7.21	100	b	0.86
		1	9.27	129	a	
	0		6.90	100	b	0.86
	1		9.58	139	a	
Señor del Huerto		0	8.32	100	b c	2.75
		1	7.16	86	b c d	
Blanca de Junín		0	8.32	100	c d e	
		1	7.16	86	d e	
Roja Pasankalla		0	10.64	100	d e	
		1	12.94	122	e	
Negra Collana		0	4.77	100	a	
		1	6.32	132	a b	
Señor del Huerto	0		4.98	100	b c	2.75
	1		9.61	193	b c d	
Blanca de Junín	0		6.90	100	c d e	
	1		9.77	142	d e	
Roja Pasankalla	0		10.89	100	d e	
	1		12.70	117	e	
Negra Collana	0		4.85	100	a	
	1		6.24	129	a b	
	0	0	5.56	100	a	1.62
	1	0	8.86	159	a b	
	0	1	8.25	100	b c	
	1	1	10.30	125		
Señor del Huerto	0	0	3.63	100		4.48
	1	0	6.40	62	b c d	
	0	1	6.33	99	d e	
	1	1	6.70	185	b c d	
Blanca de Junín	0	0	6.07	100	d e	
	1	0	8.25	123	b c d	
	0	1	7.72	94	c d e	
	1	1	11.28	186	a b c	
Roja Pasankalla	0	0	9.06	100	a b c d	
	1	0	12.71	113	a b	
	0	1	12.22	96	a b	
	1	1	13.17	145	a	
Negra Collana	0	0	3.49	100	e	
	1	0	6.05	173	d e	
	0	1	6.22	178	d e	
	1	1	6.43	184	d e	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. iranicum*. El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

Los promedios del diámetro de panoja de cada variedad y su efecto (con y sin la aplicación de *A. brasilense* y *G. iranicum*) se observan en la (Tabla 3.6), se determinó valores promedio que comprenden desde 5.55 (cm) hasta 11.79 (cm), para las variedades INIA 420 Negra Collana y Roja Pasankalla respectivamente; además la variedad Roja Pasankalla tiene diferencia estadística a las variedades Señor del Huerto, Blanca de Junín y Negra Collana obteniendo el mayor diámetro de panoja.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento en el diámetro de panoja en la variedad Señor del Huerto, de 76 % con *A. brasilense*, 74 % con *G. iranicum* y 85 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, los diámetros de panoja incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el diámetro de panoja en 36 % con *A. brasilense*, 27 % con *G. iranicum* y 86 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, los diámetros de las panojas incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el diámetro de panoja en 40 % con *A. brasilense*, 35 % con *G. iranicum* y 45 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, los diámetros de las panojas incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el diámetro de panoja en 73 % con *A. brasilense*, se incrementó en 78 % con *G. iranicum* y 84 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, los diámetros de las panojas incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo.

Apaza et al. (2013) El diámetro de la panoja en las variedades Pasankalla y Negra Collana se reportó originalmente entre 5 y 7 cm; sin embargo, los datos obtenidos en esta investigación muestran medidas superiores, probablemente porque la panoja de Pasankalla presenta una forma glomerulada que favorece su ramificación. Asimismo, Iturrizaga (2013, citado en Bolo, 2019) examinó 23 accesiones de quinua y corroboró un rango de 6,3 a 19 cm para esta misma característica, lo que indica que el tamaño de la panoja es altamente variable dependiendo de la accesión, el ecotipo y el cultivar analizado, dado que dicho diámetro está determinado por un rasgo genético específico de cada variedad.

3.1.4. Diámetro de tallo

Tabla 3.7

Análisis de variancia para el diámetro de tallo con la aplicación A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	2.57	2	1.29	3.75	0.0711
Variedad	17.74	3	5.91	17.24	0.0007**
Error (a)	2.74	8	0.34		
<i>Glomus</i>	15.44	1	15.44	19.33	0.0002**
<i>Azospirillum</i>	10.91	1	10.91	13.66	0.0011**
Variedad x <i>Glomus</i>	2.07	3	0.69	0.86	0.4742
Variedad x <i>Azospirillum</i>	2.8	3	0.93	1.17	0.3428
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	2.17	1	2.17	2.72	0.1121
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	4.8	3	1.6	2	0.1405
Error (b)	19.17	24	0.8		
Total	72.28	47			

CV (%) = 14.07 Promedio = 6.05

El análisis de variancia para el diámetro de tallo se muestra en la (Tabla 3.7), existe diferencia altamente significativas en los efectos principales de la Variedad, *Glomus* y *Azospirillum* (p-valor < 0.01), sin embargo, no existe diferencia estadística en efecto doble de Variedad x *Azospirillum*, Variedad x *Glomus*, *Glomus* x *Azospirillum* y en el efecto triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor > 0.05), el coeficiente de variación es de 14. 07 % que es un valor medio, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio general del diámetro de tallo es de 6.05mm.

Tabla 3.8

Prueba de Tukey para el efecto de *A. brasilense* y *G. iranicum* en el diámetro de tallo de cuatro variedades de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio (mm)	%	Tukey 0.05	DMS	
Señor del Huerto			6.10		a	0.76	
Blanca de Junín			6.76		a		
Roja Pasankalla			6.27		a		
Negra Collana			5.09		b		
		0	5.51	100	b	0.53	
		1	6.59	120	a		
	0		5.61	100	b	0.53	
	1		6.50	116	a		
Señor del Huerto		0	5.53	100	b	c	1.71
		1	6.68	121	a		
Blanca de Junín		0	6.25	100	a	b	
		1	7.26	116	a		
Roja Pasankalla		0	5.89	100	a	b	c
		1	6.65	113	a		
Negra Collana		0	4.38	100		c	
		1	5.79	132	a		
Señor del Huerto	0		5.41	100	b	c	1.71
	1		6.80	126	a		
Blanca de Junín	0		6.34	100	a	b	c
	1		7.17	113	a		
Roja Pasankalla	0		5.82	100	a	b	c
	1		6.72	115	a		
Negra Collana	0		4.87	100		c	
	1		5.30	109	b		
	0	0	4.94	100	b	1.00	
	0	1	6.28	127	a		
	1	0	6.08	123	a		
	1	1	6.91	140	a		
Señor del Huerto	0	0	4.68	100	b	c	2.78
	1	0	6.39	137	a		
	0	1	6.14	131	a		
	1	1	7.21	154	a		
Blanca de Junín	0	0	6.07	100	a	b	c
	1	0	6.43	106	a		
	0	1	6.61	109	a		
	1	1	7.91	130	a		
Roja Pasankalla	0	0	4.93	100	b	c	
	1	0	6.85	139	a		
	0	1	6.71	136	a		
	1	1	6.59	134	a		
Negra Collana	0	0	4.09	100		c	
	1	0	4.67	114	b		
	0	1	5.65	138	a		
	1	1	5.94	145	a		

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

El diámetro del tallo varía según el genotipo, la densidad de siembra, la fertilización, así como las condiciones del cultivo y del clima (Iturrizaga, 2013; Borda, 2011, como se citó en Bolo, 2019). La prueba de Tukey (Tabla 3.8), indica valores promedio que comprenden desde 5.09 (cm) hasta 6.76 (cm), para las variedades INIA 420 Negra Collana y Blanca de Junín respectivamente; además la variedad INIA 420 Negra Collana tiene diferencia estadística a las variedades Señor del Huerto, Blanca de Junín y Roja Pasankalla obteniendo el menor diámetro de tallo.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del diámetro de tallo en la variedad Señor del Huerto, de 37 % con *A. brasilense*, 31 % con *G. iranicum* y 34 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, los diámetros de los tallos incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el diámetro de tallo en 6 % con *A. brasilense*, 9 % con *G. iranicum* y 30 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, los diámetros de los tallos incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el diámetro de tallo en 39 % con *A. brasilense*, 36 % con *G. iranicum* y en 34 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, los diámetros de los tallos incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el diámetro de tallo en 14 % con *A. brasilense*, 38 % con *G. iranicum* y en 45 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, los diámetros de los tallos incrementaron con las inoculaciones simples y doble diferenciándose con el testigo

Según Apaza et al. (2013), la quinua Negra Collana presenta un diámetro de tallo que varía entre 1.10 mm y 1.30 mm. En los resultados del presente estudio se observaron valores superiores; sin embargo, el diámetro de tallo para la variedad Negra Collana (4.09 mm) fue menor en comparación con las demás variedades. Este valor reducido podría deberse a que las temperaturas no fueron óptimas para esta variedad, la cual requiere un rango térmico entre 5 °C y 15 °C.

Quispe et al. (2021) en una investigación que realizaron aplicando *Azospirillum* en condiciones de Canaán Ayacucho, reportaron 9.83 mm de diámetro de tallo, valor superior a los resultados del presente ensayo.

En una investigación en condiciones de Puno, en la variedad Pasankalla con la dosis

300 g del *Glomus* se obtuvo el diámetro de tallo de 16.92 mm, valor superior a los resultados obtenidos en la presente investigación (Luna, 2021). El menor diámetro de tallo obtenido se podría deber a las condiciones climáticas y edáficas del lugar de ensayo.

3.1.5. Longitud central de glomérulo

Tabla 3.9

Análisis de variancia para la longitud central de glomérulo con A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	9.56	2	4.78	5.4	0.0328*
Variedad	166.33	3	55.44	62.64	<0.0001**
Error (a)	7.08	8	0.89		
<i>Glomus</i>	51.19	1	51.19	47.13	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	68.76	1	68.76	63.3	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	20.27	3	6.76	6.22	0.0028*
Variedad x <i>Azospirillum</i>	41.96	3	13.99	12.88	<0.0001**
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	14.19	1	14.19	13.06	0.0014*
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	19.09	3	6.36	5.86	0.0038*
Error (b)	26.07	24	1.09		
Total	351.64	47			

CV (%) = 11.9 Promedio = 8.76 cm

El análisis de varianza (Tabla 3.9) indica que hay diferencias altamente significativas para el factor principal de Variedad, *Glomus*, *Azospirillum*, y factor doble de Variedad x *Azospirillum* ($p < 0.01$), de igual manera existe diferencias significativas entre Bloques, en las interacciones dobles de Variedad x *Glomus*, *Glomus* x *Azospirillum*, y en el factor triple de Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* ($p < 0.05$). El coeficiente de variación es de 11.9 % que es un valor medio, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio general de la longitud central del glomérulo es de 8.76 cm.

Tabla 3.10

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en la longitud central del glómulo de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio (cm)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			6.72		c	1.23
Blanca de Junín			8.57		b	
Pasankalla			11.77		a	
Negra Collana			7.98		b	
		0	7.86	100	b	0.62
		1	9.66	123	a	
	0		7.68	100	b	0.62
	1		9.85	128	a	
Señor del Huerto		0	5.62	100	d	
		1	7.82	139	c	
Blanca de Junín		0	7.58	100	c d	
		1	9.57	126	b c	
Pasankalla		0	10.48	100	b	1.99
		1	13.06	125	a	
Negra Collana		0	7.76	100	c	
		1	8.2	106	c	
Señor del Huerto	0		6	100	d	
	1		7.45	124	c d	
Blanca de Junín	0		7.3	100	c d	
	1		9.85	135	b	
Pasankalla	0		9.53	100	b	1.99
	1		14.01	147	a	
Negra Collana	0		7.88	100	b c d	
	1		8.08	103	b c	
	0	0	6.58	100	c	1.17
	0	1	8.77	133	b	
	1	0	9.14	139	b	
	1	1	10.55	160	a	
Señor del Huerto	0	0	4.85	100		3.24
	1	0	7.15	147	d e f g	
	0	1	6.4	132	e f g	
	1	1	8.49	175	c d e f	
Blanca de Junín	0	0	5.48	100		f g
	1	0	9.11	166	c d e	
	0	1	9.68	177	b c d	
	1	1	10.03	183	b c d	
Pasankalla	0	0	8.15	100	c d e f	
	1	0	10.92	134	b c	
	0	1	12.82	157	a b	
	1	1	15.19	186	a	
Negra Collana	0	0	7.67	100	d e f g	
	1	0	7.92	101	c d e f g	
	0	1	7.67	98	c d e f g	
	1	1	8.48	111	c d e f	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. iranicum*. El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La comparación de Tukey se observa en la (Tabla 3.10), donde se observa que entre variedades existe diferencia estadística, siendo la variedad INIA 415 Pasankalla superior (11.77 cm) y diferenciándose de las variedades Blanca de Junín e INIA 420 Negra Collana que no se diferencian entre sí, y la variedad INIA 441 Señor del Huerto obtuvo el valor inferior (6.72 cm).

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de la longitud central del glomérulo en la variedad Señor del Huerto, de 47 % con *A. brasilense*, 32 % con *G. iranicum* y 75 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, además, la longitud central del glomérulo con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó la longitud central del glomérulo en 66 % con *A. brasilense*, 77 % con *G. iranicum* y 83 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*; así mismo, la longitud central del glomérulo con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó la longitud central del glomérulo en 34 % con *A. brasilense*, 57 % con *G. iranicum* en 86 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, la longitud central del glomérulo con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó la longitud central del glomérulo en 3 % con *A. brasilense*, se redujo en 2 % con *G. iranicum* e incrementó en 12 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo.

El efecto combinado favorable de *A. brasilense* y *G. iranicum* se sustenta en el tipo de acción de ambos microorganismos. En el caso de *A. brasilense*, su efecto mejora la nutrición vegetal mediante la producción de hormonas como la auxina, la cual incrementa el crecimiento de los órganos de la planta (Martínez Infante & Reyes, 2013, como se citó en Quispe, 2021). Además, la acción del *G. iranicum* es incrementar la capacidad fotosintética de la planta obteniendo azúcares que se almacenan en los granos de la quinua (Pravia,2023).

En una investigación sobre el establecimiento de un banco de germoplasma en condiciones de Canaán, se reportó un promedio de 33.68 cm de longitud central del glomérulo. En la presente investigación, se obtuvieron valores inferiores a lo reportado, posiblemente debido a factores climáticos y edáficos (Alfaro, 2013).

3.1.6. Diámetro de glomérulo

Tabla 3.11

Análisis de variancia para el diámetro del glomérulo con A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0.01	2	0.01	0.01	0.993
Variedad	205.57	3	68.52	89.81	<0.0001**
Error (a)	6.1	8	0.76		
<i>Glomus</i>	28.59	1	28.59	39.32	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	18.31	1	18.31	25.18	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	3.7	3	1.23	1.7	0.1945
Variedad x <i>Azospirillum</i>	11.44	3	3.81	5.25	0.0063*
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	3.58	1	3.58	4.92	0.0363*
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	7.37	3	2.46	3.38	0.0347*
Error (b)	17.45	24	0.73		
Total	290.3	47			

CV (%) = 10.39, Promedio = 8.21 cm

El análisis de varianza (Tabla 3.11) indica que hay diferencias altamente significativas en los efectos principales de la Variedad, *Glomus* y *Azospirillum*, ($p < 0.01$); además, existe diferencia a significativa en el factor doble de Variedad x *Azospirillum*, *Glomus* y *Azospirillum*, y en el factor triple de Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa entre Bloques y entre Variedad x *Glomus* (p -valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 10.39 % que es un valor medio, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio general del longitud central del glomérulo es de 8.21 mm.

Tabla 3.12

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el diámetro del glomérulo de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (mm)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			6.4		c	
Blanca de Junín			8.03		b	
Roja Pasankalla			11.64	a		1.14
Negra Collana			6.77		c	
		0	7.47	100	b	0.51
		1	8.95	120	a	
	0		7.64	100	b	0.51
	1		8.78	115	a	
Señor del Huerto		0	5.58	100	d	1.63
		1	7.21	129	c	
Blanca de Junín		0	7.11	100	c d	
		1	8.95	126	b	
Roja Pasankalla		0	10.96	100	a	
		1	12.32	112	a	
Negra Collana		0	6.25	100	c d	
		1	7.3	117	c	
Señor del Huerto	0		5.38	74	d	
	1		7.41	100	b c	
Blanca de Junín	0		7.22	97	c	1.63
	1		8.85	100	b	
Roja Pasankalla	0		11.06	125	a	
	1		12.21	100	a	
Negra Collana	0		6.65	100	c d	
	1		6.89	104	c d	
	0	0	6.76	100	c	0.96
	1	0	8.18	121	b	
	0	1	8.51	126	a b	
	1	1	9.38	139	a	
Señor del Huerto	0	0	4.78	100		h 2.65
	1	0	6.38	133		e f g h
	0	1	5.98	125		f g h
	1	1	8.45	177	c d e f	
Blanca de Junín	0	0	5.65	100		g h
	1	0	8.57	152	c d e f	
	0	1	8.78	155	c d e	
	1	1	9.12	161	b c d	
Roja Pasankalla	0	0	10.35	100	a b c	
	1	0	11.57	112	a b	
	0	1	11.78	114	a	
	1	1	12.85	124	a	
Negra Collana	0	0	6.28	100		e f g h
	1	0	6.22	99		e f g h
	0	1	7.51	120		d e f g
	1	1	7.09	113		d e f g h

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*. El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La comparación de Tukey (Tabla 3.12), donde se observa que entre variedades de quinua existe diferencia significativa se obtuvo valores de 11.04 mm y 6.04 mm en las variedades de quinua INIA 415 Pasankalla e INIA 441 Señor del Huerto respectivamente.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del diámetro del glomérulo en la variedad Señor del Huerto, de 33 % con *A. brasilense*, 25 % con *G. iranicum* y 77 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*; también, el diámetro del glomérulo con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó la altura de planta en 52 % con *A. brasilense*, 55 % con *G. iranicum* y 61 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*; también, el diámetro del glomérulo con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó la altura de planta en 12 % con *A. brasilense*, 14 % con *G. iranicum* y en 24 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, el diámetro del glomérulo con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana redujo el diámetro del glomérulo en 1 % con *A. brasilense*, se incrementó en 20 % con *G. iranicum* y en 13 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, el diámetro del glomérulo con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo.

El efecto combinado favorable de *A. brasilense* y *G. iranicum* se sustenta en el tipo de acción de ambos microorganismos. En el caso de *A. brasilense*, su efecto mejora la nutrición vegetal mediante la producción de hormonas vegetales e incrementa el crecimiento de los órganos de la planta (Martínez, Infante & Reyes, 2013, como se citó en Quispe et al., 2021). Además, la acción de *G. iranicum* consiste en incrementar la capacidad fotosintética de la planta, obteniendo azúcares que se almacenan en los granos de la quinua, lo que incrementa el diámetro del glomérulo (Pravia, 2023).

En una investigación del establecimiento de Banco de germoplasma, en condiciones de Canaán se reportó 16.18 mm de longitud central del glomérulo en promedio, en la presente investigación se obtuvo valores inferiores a lo que se reporta, posiblemente por la acción climática y edáfica (Alfaro, 2013).

3.1.7. Madurez fisiológica

Tabla 3.13

Análisis de variancia para la madurez fisiológica con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	579.5	2	289.75	22.85	0.0005**
Variedad	13454.5	3	4484.83	353.68	<0.0001**
Error (a)	101.44	8	12.68		
<i>Glomus</i>	22.5	1	22.5	8.71	0.007**
<i>Azospirillum</i>	25.83	1	25.83	10	0.0042**
Variedad x <i>Glomus</i>	19.17	3	6.39	2.47	0.086
Variedad x <i>Azospirillum</i>	53.5	3	17.83	6.9	0.0016**
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	17.08	1	17.08	6.61	0.0167*
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	21.92	3	7.31	2.83	0.0599
Error (b)	62	24	2.58		
Total	15506.67	47			

CV (%) = 1.05, Promedio = 153.33 días

El análisis de varianza (Tabla 3.13) indica que hay diferencias altamente significativas para los efectos principales de Bloque, Variedad, *Glomus*, *Azospirillum* y en efecto doble de la Variedad y *Azospirillum* (p valor < 0.01), y se observa diferencia significativa en el factor doble de *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa entre el factor doble de Variedad x *Glomus* y en el factor triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 1.05 % que es un valor bajo, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio general de la madurez fisiológica es de 153.33 días.

Tabla 3.14

Prueba de Tukey para el efecto de *A. brasilense* y *G. iranicum* en la madurez fisiológica de cuatro variedades de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			183.92		a	4.48
Blanca de Junín			183.67		a	
Negra Collana			168.25		b	
Roja Pasankalla			138.42		c	
		0	168.54	100	a	0.79
		1	168.58	100	a	
	0		168.38	100	a	0.79
	1		168.75	100	a	
Señor del Huerto		0	183.33	100	a	2.54
		1	184.50	101	a	
Blanca de Junín		0	183.33	100	a	
		1	184.00	100	a	
Negra Collana		0	168.00	100	b	
		1	168.50	100	b	
Roja Pasankalla		0	138.33	100		c
		1	138.50	100		c
Señor del Huerto	0		183.33	100	a	2.54
	1		184.00	100	a	
Blanca de Junín	0		183.50	100	a	
	1		184.33	100	a	
Negra Collana	0		168.17	100	b	
	1		168.33	100	b	
Roja Pasankalla	0		138.50	100		c
	1		138.33	100		c
	0	0	168.50	100	a	1.5
	0	1	168.25	100	a	
	1	0	168.67	100	a	
	1	1	168.83	100	a	
Señor del Huerto	0	0	167.67	100	a	4.99
	1	0	167.67	100	a	
	0	1	169.00	101	a	
	1	1	170.67	101	a	
Blanca de Junín	0	0	168.33	100	a	
	1	0	168.33	100	a	
	0	1	167.33	99	a	
	1	1	167.33	99	a	
Negra Collana	0	0	148.00	100	b	
	1	0	150.67	102	b	
	0	1	148.00	102	b	
	1	1	149.33	101	b	
Roja Pasankalla	0	0	130.33	100		c
	1	0	126.67	97		c
	0	1	127.67	98		c
	1	1	126.33	97		c

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La prueba de Tukey para la madurez fisiológica se observa en la (Tabla 3.14), donde se

muestra que entre las variedades INIA 441 Señor del Huerto y Blanca de Junín no existe diferencia estadística con 168.75 días y 167. 83 días respectivamente, la variedad INIA 420 Negra Collana tiene diferencia significativa con 149 días a la madurez fisiológica y finalmente la variedad INIA 415 Pasankalla obtuvo la madurez fisiológica a los 127. 75 días siendo la variedad más precoz en el ensayo.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de la madurez fisiológica en la variedad Señor del Huerto, de 1 % con *G. iranicum* y 1 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, la madurez fisiológica con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín no incrementó la madurez fisiológica, también las inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla no incrementó la madurez fisiológica, redujo en 1 % con *G. iranicum*, la madurez fisiológica con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana no incrementó la madurez fisiológica con la aplicación de los microorganismos y también las inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo.

Como señalan Apaza et al. (2013), la variedad Blanca de Junín alcanza la madurez fisiológica alrededor de los 160 días, lo cual indica que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos. La variedad Pasankalla alcanza la madurez fisiológica a los 120 días en valles interandinos, siendo el resultado del presente ensayo casi similar al de otros estudios (Apaza et al., 2013). Asimismo, la variedad INIA 415 Pasankalla fue la más precoz (165 días) en un ensayo realizado en Canaán (Barrientos, 2023); sin embargo, en el presente ensayo se obtuvo una madurez fisiológica en 126.33 días, esta aceleración podría atribuirse a la acción del *A. brasilense*, que produce etileno, hormona responsable de la madurez (Domingues et al., 2020). El etileno regula la maduración y senescencia de productos agrícolas a nivel molecular, bioquímico y fisiológico (Kesari et al., 2007, como se citó en Balaguera-López et al., 2014).

3.1.8. Madurez de cosecha

Tabla 3.15

Análisis de variancia para la madurez de cosecha con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	802.67	2	401.33	34.12	0.0001**
Variedad	16473.06	3	5491.02	466.77	<0.0001**
Error (a)	94.11	8	11.76		
<i>Glomus</i>	130.77	1	130.77	73.85	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	132.44	1	132.44	74.79	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	136.98	3	45.66	25.78	<0.0001**
Variedad x <i>Azospirillum</i>	132.65	3	44.22	24.97	<0.0001**
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	131.27	1	131.27	74.13	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	131.15	3	43.72	24.69	<0.0001**
Error (b)	42.5	24	1.77		
Total	18491.81	47			

CV (%) = 0.79, Promedio = 168.56 días

El análisis de varianza (Tabla 3.15) indica que hay diferencias altamente significativas para el factor principal de Bloques, Variedad, *Glomus*, *Azospirillum*, Variedad x *Azospirillum*, Variedad x *Glomus*, *Glomus* x *Azospirillum* y en el factor triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.01);. El coeficiente de variación es de 0.79 % que es un valor bajo, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio general de la madurez de cosecha es de 168.56 días.

Tabla 3.16

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en la madurez de cosecha de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			183.92		a	4.48
Blanca de Junín			183.67		a	
Negra Collana			168.25		b	
Roja Pasankalla			138.42		c	
		0	168.54	100	a	0.79
		1	168.58	100	a	
	0		168.38	100	a	0.79
	1		168.75	100	a	
Señor del Huerto		0	183.33	100	a	2.54
		1	184.50	101	a	
Blanca de Junín		0	183.33	100	a	
		1	184.00	100	a	
Negra Collana		0	168.00	100	b	
		1	168.50	100	b	
Roja Pasankalla		0	138.33	100		c
		1	138.50	100		c
Señor del Huerto	0		183.33	100	a	2.54
	1		184.00	100	a	
Blanca de Junín	0		183.50	100	a	
	1		184.33	100	a	
Negra Collana	0		168.17	100	b	
	1		168.33	100	b	
Roja Pasankalla	0		138.50	100		c
	1		138.33	100		c
	0	0	168.50	100	a	1.5
	0	1	168.25	100	a	
	1	0	168.67	100	a	
	1	1	168.83	100	a	
Señor del Huerto	0	0	183.00	100	a	4.13
	1	0	183.67	100	a	
	0	1	184.00	101	a	
	1	1	185.00	101	a	
Blanca de Junín	0	0	183.67	100	a	
	1	0	184.33	100	a	
	0	1	183.00	100	a	
	1	1	183.67	100	a	
Negra Collana	0	0	168.67	100	b	
	1	0	168.33	100	b	
	0	1	167.67	99	b	
	1	1	168.33	100	b	
Roja Pasankalla	0	0	138.67	100		c
	1	0	138.33	100		c
	0	1	138.33	100		c
	1	1	138.33	100		c

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La prueba de Tukey para la madurez de cosecha se observa en la Tabla 3.16, donde se muestra que entre las variedades INIA 441 Señor del Huerto y Blanca de Junín no existe diferencia estadística, la variedad INIA 420 Negra Collana tiene diferencia significativa con 168.45 días a la madurez de cosecha y finalmente la variedad INIA 415 Pasankalla obtuvo la madurez de cosecha a los 138.45 días siendo la variedad más precoz en el ensayo.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de la madurez de cosecha en la variedad Señor del Huerto, 1 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín, Negra Collana y Roja Pasankalla, no incrementó con la aplicación de *Azospirillum*, *Glomus* y la interacción de *Azospirillum* + *Glomus*; de igual manera, la madurez de cosecha con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo

Como señala Sánchez (2019), la variedad Blanca de Junín es de un periodo vegetativo largo que dura 180 días, lo cual indica que los resultados se encuentran alrededor de los datos establecidos. La variedad Pasankalla alcanza la madurez de cosecha a los 144 días para valles interandinos, siendo el resultado del ensayo casi similar al que reporta Sánchez (2019). Asimismo, la variedad INIA 415 Pasankalla fue la más precoz (125 días) en un ensayo realizado en Canaán (Barrientos, 2023); sin embargo, en el presente ensayo se obtuvo un promedio de 138.67 días. Esta retardada madurez de cosecha sería causada por la acción del *Azospirillum*, que produce citocininas responsables de retrasar la senescencia mediante la acumulación de clorofila (Domingues et al. 2020).

3.2. Rendimiento

3.2.1. Peso de panoja

Tabla 3.17

Análisis de variancia para el peso de panoja con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	394.76	2	197.38	4.6	0.0467*
Variedad	206.11	3	68.7	1.6	0.2637
Error (a)	342.94	8	42.87		
<i>Glomus</i>	1535.73	1	1535.73	23.36	0.0001**
<i>Azospirillum</i>	1215.07	1	1215.07	18.48	0.0002**
Variedad x <i>Glomus</i>	67.6	3	22.53	0.34	0.7946
Variedad x <i>Azospirillum</i>	173.55	3	57.85	0.88	0.4653
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	46.16	1	46.16	0.7	0.4103
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	317.88	3	105.96	1.61	0.2128
Error (b)	1577.63	24	65.73		
Total	5826.98	47			

CV (%) = 29.88, Promedio = 25.43

El análisis de varianza (Tabla 3.17) indica que existe diferencia altamente significativa en el efecto principal de *Glomus* y *Azospirillum* (p valor < 0.01); además, se encontró diferencia significativa entre Bloques (p-valor < 0.05). Sin embargo, no existe diferencia significativa entre Variedad, Variedad x *Glomus*, Variedad x *Azospirillum* y en el factor triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 29.88 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del peso de panoja es de 25.43 g.

Tabla 3.18

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el peso de panoja de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (g/panoja)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			23.44		a	8.56
Blanca de Junín			26.86		a	
Roja Pasankalla			28.06		a	
Negra Collana			23.36		a	
		0	19.82	100	b	4.83
		1	31.05	157	a	
	0		20.45	100	b	4.83
	1		30.42	149	a	
Señor del Huerto		0	17.75	100	b	
		1	29.14	164	a b	
Blanca de Junín		0	19.77	100	a b	15.5
		1	33.96	172	a	
Roja Pasankalla		0	22.75	100	a b	
		1	33.37	147	a	
Negra Collana		0	18.99	100	a b	
		1	27.73	146	a b	
Señor del Huerto	0		15.78	100	b	15.5
	1		31.11	197	a b	
Blanca de Junín	0		21.5	100	a b	
	1		32.23	150	a	
Roja Pasankalla	0		24.03	100	a b	
	1		32.08	133	a	
Negra Collana	0		20.48	100	a b	
	1		26.25	128	a b	
	0	0	14.11	100		c 9.13
	1	0	25.52	181	b	
	0	1	26.78	190	a b	
	1	1	35.32	250	a	
Señor del Huerto	0	0	15.32	100		c 25.19
	1	0	25.53	167	a b c	
	0	1	21.59	141	a b c	
	1	1	36.69	239	a b	
Blanca de Junín	0	0	17.5	100	a b c	
	1	0	22.04	126	a b c	
	0	1	25.49	146	a b c	
	1	1	42.42	242	a	
Roja Pasankalla	0	0	16	100	b c	
	1	0	29.5	184	a b c	
	0	1	32.07	200	a b c	
	1	1	34.67	217	a b c	
Negra Collana	0	0	12.99	100	b c	
	1	0	25	192	a b c	
	0	1	27.97	215	a b c	
	1	1	27.5	212	a b c	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la (Tabla 3.18) se observa la comparación de Tukey para el peso de panoja, donde entre variedades no existe diferencia estadística siendo igual el peso de panoja para las variedades INIA 415 Pasankalla, Blanca de Junín, INIA 441 Señor del Huerto e INIA 420 Negra Collana.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento el peso de panoja en la variedad Señor del Huerto, de 41 % con *A. brasilense*, 67 % con *G. iranicum* y 139 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, el peso de panoja con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el peso de panoja en 26 % con *A. brasilense*, 46 % con *G. iranicum* y 142 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también el peso de panoja con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el peso de panoja en 84 % con *A. brasilense*, 100 % con *G. iranicum* y en 127% con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso de panoja con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo.

El efecto combinado favorable de *A. brasilense* y *G. iranicum* se sustenta en el tipo de acción de ambos microorganismos. En el caso de *A. brasilense*, su efecto mejora la nutrición vegetal mediante la producción de hormonas vegetales (Martínez, Infante y Reyes, 2013, citado por Quispe, 2021). Además, la acción del *G. iranicum* incrementa la capacidad fotosintética de la planta, obteniendo azúcares que se almacenan en los granos de la quinua (Pravia, 2023).

Quispe (2021) obtuvo valores de 64.23 g con la aplicación de *Azospirillum* en la variedad INIA 441 Señor del Huerto. Por su parte, Morote (2014) obtuvo un resultado de 58.71 g de peso de panoja en la quinua variedad Blanca de Junín. En la presente investigación, se obtuvo valores inferiores a los reportados, posiblemente debido a factores climáticos y edáficos. La variedad Negra Collana obtuvo el menor valor (9.97 g), posiblemente debido a la influencia de la altitud, ya que esta variedad pertenece a la zona agroecológica del altiplano, que se encuentra entre los 3800 y 3900 msnm y presenta un clima seco (Apaza et al., 2013).

La variable peso de panoja es la que interviene de manera directa sobre el rendimiento (Choquechua, 2010 como se citó en Morote,2014), por ello, se recomienda tener cuidado

con el manejo agronómico, especialmente con la densidad de plantas. Se han reportado panojas con hasta 500 g de semilla por inflorescencia, dependiendo especialmente del genotipo, suelo y clima (Morote, 2014). En esta investigación se afirma que el peso de panoja es un factor determinante en el rendimiento de grano de la quinua.

3.2.2. Peso de grano por panoja

Tabla 3.19

Análisis de variancia para el peso de grano por panoja (g/panoja) con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0.5	2	0.25	0.03	0.9735
Variedad	63.92	3	21.31	2.29	0.155
Error (a)	74.4	8	9.3		
<i>Glomus</i>	316.52	1	316.52	67.55	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	219.3	1	219.3	46.8	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	70.37	3	23.46	5.01	0.0078**
Variedad x <i>Azospirillum</i>	89.39	3	29.8	6.36	0.0025**
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	49.41	1	49.41	10.54	0.0034**
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	67.97	3	22.66	4.84	0.009**
Error (b)	112.46	24	4.69		
Total	824.11	47			

CV (%) = 24.33, Promedio = 8.90

El análisis de varianza (Tabla 3.19) indica que existe diferencia altamente significativa en el efecto principal *Glomus* y *Azospirillum*, en el factor doble Variedad x *Glomus*, Variedad x *Azospirillum* y *Glomus* x *Azospirillum*, y en el efecto triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.01); no existe diferencia significativa entre Bloques y Variedad (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 24.33 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del peso de grano por panoja es de 8.90 g.

Tabla 3.20

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el peso de grano por panoja (g/panoja) de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (g)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			7.88		a	3.99
Blanca de Junín			10.85		a	
Roja Pasankalla			8.25		a	
Negra Collana			8.62		a	
		0	6.54	100	b	1.29
		1	11.26	172	a	
	0		7.01	100	b	1.29
	1		10.78	154	a	
Señor del Huerto		0	6.28	100	c d	4.14
		1	9.48	151	b c d	
Blanca de Junín		0	7.78	100	b c d	
		1	13.92	179	a	
Roja Pasankalla		0	6.46	100	c d	
		1	10.04	155	a b c	
Negra Collana		0	5.64	100	d	
		1	11.6	206	a b	
Señor del Huerto	0		4.98	100	c	4.14
	1		10.78	216	a b	
Blanca de Junín	0		8.2	100	b c	
	1		13.49	165	a	
Roja Pasankalla	0		7.54	100	b c	
	1		8.96	119	b c	
Negra Collana	0		7.34	100	b c	
	1		9.9	135	a b	
	0	0	4.75	100	c	2.44
	1	0	8.33	175	b	
	0	1	9.28	195	b	
	1	1	13.24	279	a	
Señor del Huerto	0	0	4.49	100		6.73
	1	0	9.07	202	b c d e	
	0	1	6.46	144	b c d e	
	1	1	12.5	278	a b	
Blanca de Junín	0	0	6.25	100	b c d e	
	1	0	9.31	149	b c d e	
	0	1	10.16	163	b c d e	
	1	1	17.67	283	a	
Roja Pasankalla	0	0	5.38	100	c d e	
	1	0	7.54	140	b c d e	
	0	1	9.71	180	b c d e	
	1	1	10.38	193	b c d	
Negra Collana	0	0	3.88	100	d e	
	1	0	7.39	190	b c d e	
	0	1	10.79	278	b c	
	1	1	12.4	320	a b	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. iranicum*. El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la (Tabla 3.20) se observa la comparación de Tukey para el peso de grano por panoja,

donde entre variedades no existe diferencia estadística siendo igual el peso de panoja para las variedades, Blanca de Junín, INIA 420 Negra Collana, INIA 415 Pasankalla e INIA 441 Señor del Huerto.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del peso de grano por panoja en la variedad Señor del Huerto, de 102 % con *A. brasilense*, 44 % con *G. iranicum* y 178 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, el peso de grano por panoja con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó del peso de grano por panoja en 49 % con *A. brasilense*, 63 % con *G. iranicum* y 183 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también el peso de grano por panoja con inoculaciones simples y dobles se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el peso de grano por panoja en 40 % con *A. brasilense*, 80 % con *G. iranicum* y en 93% con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso de grano por panoja con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el peso de grano por panoja en 90 % con *A. brasilense*, se incrementó en 178 % con *G. iranicum* y 220 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso de grano por panoja con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo.

La aplicación de *A. brasilense* y *G. iranicum*, es favorable mediante el tipo de acción de ambos microorganismos, en el caso de *A. brasilense* su efecto es mejorador de la nutrición vegetal principalmente por la producción de reguladores vegetales (Martinez, Infante & Reyes, 2013 como se citó en Quispe, 2021), además la acción del *G. iranicum* es incrementar la capacidad fotosintética de la planta obteniendo azúcares (Pravia,2023) que se almacenan en los granos de la quinua e incrementan el peso. Bolo (2019), obtuvo valores de peso de grano por planta de 10.75 g en la variedad Blanca de Junín con la aplicación de microorganismos rizosféricos, en la presente investigación se obtuvo valores superiores a lo que se reporta, por la acción positiva de los microorganismos; Luna (2021) reporta datos de 18.36 g de grano por panoja con la aplicación de 300 g de *Glomus* y Apaza et al. (2013) reporta valores de peso de grano por planta de 35.50g a 40.10g en la variedad Blanca de Junín, en la investigación los valores son bajos esto sería posiblemente por las condiciones edáficas donde se instaló el experimento.

3.2.3. Peso de 1000 semillas

Tabla 3.21

Análisis de variancia para el peso de 1000 semillas con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	2.02	2	1.01	4.33	0.0532
Variedad	11.32	3	3.77	16.21	0.0009**
Error (a)	1.86	8	0.23		
<i>Glomus</i>	15.79	1	15.79	18.54	0.0002**
<i>Azospirillum</i>	4.64	1	4.64	5.45	0.0283*
Variedad x <i>Glomus</i>	6.06	3	2.02	2.37	0.0956
Variedad x <i>Azospirillum</i>	10.27	3	3.42	4.02	0.0189*
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	3.09	1	3.09	3.63	0.0687
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	6.18	3	2.06	2.42	0.0912
Error (b)	20.45	24	0.85		
Total	65.04	47			

CV (%) = 29.82, Promedio = 3.10

El análisis de varianza (Tabla 3.21) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de Variedad y *Glomus* (p valor <0.01), de igual manera se observa diferencia significativa en el efecto principal de *Azospirillum* y en la interacción doble Variedad x *Azospirillum* (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa entre Bloques, Variedad x *Glomus*, *Glomus* x *Azospirillum* y en la interacción triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 29.82 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del peso de grano por panoja es de 3.10 g.

Tabla 3. 22

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el peso de 1000 semillas de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (g/planta)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			2.93			0.63
Blanca de Junín			3.80		a	
Roja Pasankalla			2.90			b
Negra Collana			2.64			b
		0	2.58	100		0.55
		1	3.61	140	a	
	0		2.92	100	a	0.55
	1		3.27	112	a	
Señor del Huerto		0	2.44	100		1.76
		1	3.41	140	a	b
Blanca de Junín		0	3.01	100		b
		1	4.82	160	a	
Roja Pasankalla		0	2.46	100		b
		1	3.33	135	a	b
Negra Collana		0	2.42	100		b
		1	2.87	119		b
Señor del Huerto	0		2.13	100		1.76
	1		3.73	175	a	b
Blanca de Junín	0		3.73	100	a	b
	1		4.10	110	a	
Roja Pasankalla	0		2.79	100	a	b
	1		3.00	108	a	b
Negra Collana	0		2.44	100	a	b
	1		2.85	117	a	b
	0	0	2.40	100		1.04
	1	0	2.76	115	a	b
	0	1	3.43	143	a	b
	1	1	3.79	158	a	
Señor del Huerto	0	0	2.05	100		2.87
	1	0	2.83	138	a	b
	0	1	2.21	108		b
	1	1	4.26	208	a	b
Blanca de Junín	0	0	3.00	100	a	b
	1	0	3.01	100	a	b
	0	1	4.20	140	a	b
	1	1	4.40	147	a	
Roja Pasankalla	0	0	2.32	100		b
	1	0	2.60	112	a	b
	0	1	3.68	159	a	b
	1	1	2.99	129	a	b
Negra Collana	0	0	2.24	100		b
	1	0	2.60	116	a	b
	0	1	2.64	118	a	b
	1	1	3.10	138	a	b

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. iranicum*. El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la Tabla 3.22 se observa la comparación de Tukey para el peso de 1000 semillas,

donde entre variedades se observa que la quinua Blanca de Junín se diferencia significativamente de la variedad Señor del Huerto, Roja Pasankalla y Negra Collana, que no tienen diferencia estadística entre sí. Apaza et al. (2013) señala que el peso de 1000 granos en la variedad Blanca de Junín comprende de 2.10g a 3.80g, entonces los resultados se encuentran dentro de lo establecido.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de el peso de 1000 semillas en la variedad Señor del Huerto, de 38 % con *A. brasilense*, 8 % con *G. iranicum* y 108 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, el peso de 1000 semillas con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el peso de 1000 semillas 40 % con *G. iranicum* y 47 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también el peso de 1000 semillas con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el peso de 1000 semillas en 12 % con *A. brasilense*, 1 % con *G. iranicum*, incrementó en 59 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso de 1000 semillas con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el peso de 1000 semillas en 16 % con *A. brasilense*, se incrementó en 18 % con *G. iranicum* y 38 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso de 1000 semillas con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo.

La aplicación combinada de *A. brasilense* con *G. iranicum* es positiva por la acción de ambos microorganismos, el *A. brasilense* actúa mediante la producción de fitohormonas que incrementan el desarrollo de los granos (Pérez, 2005), además la acción del *G. iranicum* es incrementar la capacidad fotosintética de la planta obteniendo azúcares (Pravia,2023) que se almacenan en los granos de la quinua y hacen que incremente de tamaño.

Los informes sobre el peso de mil semillas muestran una amplia variación, que va de 2,81 g a 3,27 g; en este ensayo la media alcanzó 3,10 g, cifra en línea con lo observado por Bolo (2019). Iturrizaga (2013), en cambio, documentó valores superiores a 3,80 g para la variedad Blanca de Junín, y aclara que esa medida por sí sola no predice el rendimiento total del cultivo de quinua. El peso de mil semillas responde, sobre todo, a características genéticas de la variedad, aunque también puede modificarse por las prácticas agronómicas aplicadas durante el ciclo del cultivo (Rosas, 2015, citado en Bolo, 2019).

Morote (2014), obtuvo resultado de 3.28 g de peso de 1000 semillas en la variedad INIA 415 Pasankalla, mientras que en presente ensayo se obtuvo el resultado superior (3.68 g) con la aplicación de *Glomus*, esto sería por la acción de estimular la fotosíntesis mediante la simbiosis planta-Hongo y se traduce en el aumento de producción y de granos de quinua.

Se evaluó cuatro variedades de quinua y se obtuvo resultado de 3.88 g de peso de 1000 semillas aplicando 100-60-40 NPK (De la Cruz, 2004 como se citó en Morote,2014), en el presente ensayo se ha obtenido resultados superiores con la aplicación solamente de microorganismos, afirmando que tiene mejores resultados que la aplicación de fertilizantes químicos.

3.2.4. Rendimiento de grano

Tabla 3.23

Análisis de variancia para el rendimiento de grano con aplicación de A, brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	30.9	2	15.45	6.47	0.0318
Variedad	9.81	3	3.27	1.37	0.3393
Error (a)	14.34	6	2.39		
<i>Glomus</i>	36.98	1	36.98	46.72	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	26.03	1	26.03	32.89	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	3.71	3	1.24	1.56	0.2245
Variedad x <i>Azospirillum</i>	4.18	3	1.39	1.76	0.1812
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	0.45	1	0.45	0.57	0.456
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	0.95	3	0.32	0.4	0.7544
Error (b)	19	24	0.79		
Total	146.35	47			

CV (%) =27.56, Promedio= 3.23

El análisis de varianza (Tabla 3.23) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de Bloque, *Glomus* y *Azospirillum* (p valor <0.01), sin embargo, no existe diferencia significativa en el efecto principal de Variedad, en la interacción de Variedad x *Glomus*, Variedad x *Azospirillum*, *Glomus* x *Azospirillum* y en la interacción triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 27.56 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del rendimiento de grano es de 3.23 TM.

Tabla 3.24

Prueba de Tukey para el efecto de *A. brasilense* y *G. iranicum* en el rendimiento de grano de cuatro variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (t/ha)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del huerto			3.09		a	2.18
Blanca de Junín			3.99		a	
Roja Pasankalla			3.02		a	
Negra Collana			2.81		a	
		0	2.35	100	b	0.53
		1	4.11	175	a	
	0		2.49	100	b	0.53
	1		3.97	159	a	
Señor del huerto		0	2.37	100	b c	1.70
		1	3.80	160	a b	
Blanca de Junín		0	2.74	100	b c	
		1	5.25	192	a	
Roja Pasankalla		0	2.49	100	b c	
		1	3.55	143	a b	
Negra Collana		0	1.80	100	c	
		1	3.83	213	a b	
Señor del huerto	0		1.94	100	c	1.70
	1		4.24	219	a b	
Blanca de Junín	0		3.12	100	b c	
	1		4.87	156	a	
Roja Pasankalla	0		2.57	100	b c	
	1		3.47	135	a b c	
Negra Collana	0		2.35	100	c	
	1		3.28	140	a b c	
	0	0	2.99	100	b	1.00
	1	0	1.71	57	c	
	0	1	4.94	165	a	
	1	1	3.27	109	b	
Señor del huerto	0	0	1.35	100	d e	2.76
	1	0	3.40	252	b c d e	
	0	1	2.52	187	b c d e	
	1	1	4.40	326	a b	
Blanca de Junín	0	0	2.16	100	c d e	
	1	0	3.32	154	b c d e	
	0	1	4.07	188	a b c d	
	1	1	4.92	228	a	
Roja Pasankalla	0	0	2.10	100	c d e	
	1	0	2.88	137	b c d e	
	0	1	3.04	145	b c d e	
	1	1	4.06	193	a b c d	
Negra Collana	0	0	1.24	100	e	
	1	0	2.36	190	b c d e	
	0	1	3.46	279	b c d e	
	1	1	4.20	339	a b c	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la Tabla 3.24 se observa la comparación de Tukey para el rendimiento de grano, donde entre variedades no existe diferencia estadística siendo igual el rendimiento de grano

(TM/ha) para las variedades, Blanca de Junín, INIA 441 Señor del Huerto, INIA 415 Pasankalla, INIA 420 Negra Collana.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento en el rendimiento de grano en la variedad Señor del Huerto, de 152 % con *A. brasilense*, 87 % con *G. iranicum* y 226 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, también, el rendimiento de grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el rendimiento de grano en 54 % con *A. brasilense*, 88 % con *G. iranicum* y 128 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, también, el rendimiento de grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el rendimiento de grano en 37% con *A. brasilense*, 45% con *G. iranicum* y en 93 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, también, el rendimiento de grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el rendimiento de grano en 90 % con *A. brasilense*, se incrementó en 179 % con *G. iranicum* y 239 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, el rendimiento de grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo.

Según Apaza et al. (2023) la variedad Blanca de Junín tiene un rendimiento promedio de 2.50 TM/ha; la variedad INIA 415 Pasankalla tiene un rendimiento promedio de 3.54 TM/ha, la variedad INIA 420 Negra Collana tiene un rendimiento promedio de 3.01 TM/ha y la variedad Señor del Huerto tiene el rendimiento de grano de 2.95TM/ha a 3.2 TM/ha (AgroPerú, 2020).

Los resultados obtenidos superaron los valores previamente establecidos, lo cual se atribuye a la acción benéfica de los microorganismos La coinoculación de *A. brasilense* y *G. iranicum* evidenció un impacto favorable en el desarrollo y rendimiento del cultivo de quinua al actuar como agentes promotores del crecimiento vegetal. En particular, *A. brasilense* se ha asociado con la producción de giberelinas, fitohormonas que estimulan procesos fisiológicos clave como la floración y fructificación, lo que conlleva un incremento significativo en el rendimiento del cultivo (Domingues et al., 2020). Por su parte, *G. iranicum*, un hongo micorrízico arbuscular con capacidad de establecer relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, mejora la absorción de nutrientes

esenciales, principalmente fósforo y contribuye a una mayor eficiencia en el uso de recursos edáficos. Esta simbiosis puede generar incrementos de rendimiento de hasta un 25 %, según lo reportado en estudios previos (Restrepo et al., 2019).

En el presente estudio, la variedad Blanca de Junín alcanzó un rendimiento de 4.92 TM/ha de grano, superando al valor reportado por Quispe et al. (2021), quienes obtuvieron 4.67 TM/ha bajo condiciones agroecológicas de Canaán con la aplicación de *Azospirillum brasilense*. Este incremento podría atribuirse a factores como las condiciones edafoclimáticas del experimento y la posible interacción sinérgica entre los microorganismos empleados. Asimismo, Luna (2021) reportó rendimientos de 1.67 TM/ha y 1.55 TM/ha para las variedades Blanca de Junín y Pasankalla, respectivamente, con la aplicación de *Glomus* en condiciones del Altiplano, cifras notablemente inferiores a las obtenidas en este ensayo. Estas diferencias subrayan la relevancia del contexto agroecológico y del manejo agronómico en la expresión del rendimiento, así como el efecto positivo de la coinoculación con microorganismos promotores del crecimiento vegetal.

En un estudio realizado por Quispe (2023), se reportó un rendimiento de 3.41 TM/ha de grano en la variedad INIA 441 Señor del Huerto bajo condiciones agroecológicas de Canaán y con la aplicación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum*. Este valor fue inferior al obtenido en el presente ensayo (4.40 TM/ha), diferencia que podría explicarse por el manejo agronómico más adecuado y las posibles condiciones edafoclimáticas favorables durante la ejecución del experimento actual. Por otro lado, Bolo (2019) informó un rendimiento de 1.4 TM/ha para la variedad Negra Collana sin la aplicación de microorganismos, valor que se aproxima al rendimiento obtenido en este estudio bajo condiciones similares de ausencia de inoculación, lo cual confirma la consistencia en el comportamiento productivo de esta variedad bajo condiciones estándar.

En cuanto a la variedad INIA 415 Pasankalla, Torre et al. (2020) registraron un rendimiento superior de 4.37 TM/ha con la aplicación de microorganismos mejoradores del suelo, mientras que en el presente ensayo se obtuvo un valor ligeramente menor (4.06 TM/ha). Esta diferencia podría atribuirse a factores externos como el daño ocasionado por aves, que consumieron parte del grano durante la fase de madurez fisiológica, afectando el rendimiento final.

Estos resultados evidencian la importancia tanto de la inoculación con microorganismos benéficos como del manejo agronómico integral y del control de factores bióticos, como la fauna silvestre, en la maximización del rendimiento del cultivo de quinua.

3.2.5. Diámetro de grano

Tabla 3.25

Análisis de variancia para el diámetro de grano con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	5.50	2	2.80	0.03	0.9742
Variedad	2.33	3	0.78	738.96	<0.0001**
Error (a)	0.01	8	1.00		
<i>Glomus</i>	0.05	1	0.05	22.28	0.0001**
<i>Azospirillum</i>	0.16	1	0.16	70.36	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	0.06	3	0.02	8.76	0.0004**
Variedad x <i>Azospirillum</i>	0.02	3	0.01	3.43	0.0332*
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	0.06	1	0.06	24.37	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	0.01	3	4.40	1.89	0.1586
Error (b)	0.06	24	2.30		
Total	2.76	47			

CV (%) = 2.72, Promedio = 1.77mm

El análisis de varianza (Tabla 3.25) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de Variedad, *Glomus*, *Azospirillum* y en las interacciones doble de Variedad x *Glomus*, *Glomus* x *Azospirillum* (p valor <0.01), se observa diferencia significativa en la interacción doble de Variedad x *Azospirillum* (p valor <0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa en el efecto principal de Bloques y en la interacción triple de Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 2.72 % que es un valor bajo, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del diámetro de grano es de 1.77mm.

Tabla 3.26

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el diámetro de grano de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio (mm)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			1.60		c	0.042
Blanca de Junín			1.72		b	
Roja Pasankalla			2.14		a	
Negra Collana			1.60		c	
	0		1.73	100	b	0.029
	1		1.80	104	a	
		0	1.71	100	b	0.029
		1	1.82	106	a	
Señor del Huerto	0		1.57	100	c	0.092
	1		1.63	104	c	
Blanca de Junín	0		1.64	100	c	
	1		1.81	110	b	
Roja Pasankalla	0		2.12	100	a	
	1		2.15	101	a	
Negra Collana	0		1.57	100	c	
	1		1.63	104	c	
Señor del Huerto		1	1.64	100	d e	0.092
		0	1.56	95	e	
Blanca de Junín		0	1.67	100	d	
		1	1.77	106	c	
Roja Pasankalla		0	2.04	100	b	
		1	2.23	109	a	
Negra Collana		0	1.56	100	e	
		1	1.64	105	d e	
	0	0	1.64	100	b	0.054
	1	0	1.77	108	a	
	1	1	1.82	111	a	
	0	1	1.82	111	a	
Señor del Huerto	0	0	1.61	100	f g	0.149
	1	0	1.51	94	g	
	0	1	1.65	102	e f g	
	1	1	1.64	102	f g	
Blanca de Junín	0	0	1.56	100	g	
	1	0	1.79	115	d e	
	0	1	1.72	110	d e f	
	1	1	1.83	117	d	
Roja Pasankalla	0	0	1.99	100	c	
	1	0	2.09	105	b c	
	0	1	2.31	116	a	
	1	1	2.16	109	b	
Negra Collana	0	0	1.51	100	g	
	1	0	1.61	107	f g	
	0	1	1.64	109	f g	
	1	1	1.65	109	e f g	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la Tabla 3.26 se observa la comparación de Tukey para el diámetro de grano, la variedad INIA 415 Pasankalla tiene diferencia significativa a las demás variedades con

2.14 mm de diámetro de grano, seguido de la variedad Blanca de Junín (1.72 mm) que tiene diferencia estadística a las dos variedades restantes, INIA 441 Señor del Huerto e INIA 420 Negra Collana no tienen diferencia estadística. Según Apaza et al. (2013), el diámetro del grano en la variedad Negra Collana es de 1.60 mm, en la variedad Pasankalla de 2.10 mm y en la variedad Blanca de Junín de 2.20 mm. Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran valores similares a los establecidos, con ligeras variaciones atribuibles posiblemente a factores ambientales o genéticos.

La variedad Señor del Huerto redujo el diámetro del grano en 44 % con *A. brasilense*, se incrementó en 2 % con *G. iranicum* y en 2 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, el diámetro del grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el diámetro del grano en 15 % con *A. brasilense*, 10 % con *G. iranicum* y 17 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, el diámetro del grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el diámetro del grano en 5% con *A. brasilense*, 16 % con *G. iranicum* y en 9% con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*; así mismo, el diámetro del grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el diámetro del grano en 7 % con *A. brasilense*, en 9 % con *G. iranicum* y 9 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, así mismo, el diámetro del grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo.

El incremento en el diámetro del grano de quinua puede estar influenciado por la acción de microorganismos promotores del crecimiento vegetal, como *A. brasilense* y *G. iranicum*, los cuales mejoran la absorción de nutrientes, favoreciendo el desarrollo de estructuras comerciales de la planta, como el tamaño del grano (Domingues et al., 2020). Esta sinergia microbiana contribuye al fortalecimiento del sistema radicular y al aprovechamiento eficiente de elementos minerales esenciales, lo que incide positivamente en la morfometría del grano.

En un estudio realizado en la localidad de Canaán, Huamanculi (2017) evaluó cinco variedades de quinua, obteniendo un diámetro promedio de grano de 3.8 mm, valor superior al registrado en la presente investigación. Esta diferencia podría estar asociada a factores edáficos y ambientales específicos del área experimental. Asimismo, Román

(2014, como se cita en Huamanculi, 2017) reportó un diámetro máximo de 2.24 mm en un ensayo de adaptación y rendimiento de 18 cultivares de quinua bajo condiciones de Canaán, resultado que se encuentra por debajo de los valores alcanzados en algunas de las variedades evaluadas en este estudio.

Por otro lado, Huamanculi (2017) también documentó que, en un ensayo con 36 cultivares de quinua de grano amarillo, el diámetro osciló entre 2.10 mm y 2.30 mm, resultados comparables con los obtenidos en la presente investigación. Estas variaciones confirman que el tamaño del grano está fuertemente influenciado por factores genéticos, edafoclimáticos y de manejo, así como por el uso de bioestimulantes microbiológicos.

3.2.6. Peso hectolítrico

Tabla 3.27

Análisis de variancia para el peso hectolítrico con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	20.54	2	10.27	1.47	0.2853
Variedad	846.3	3	282.1	40.46	<0.0001**
Error (a)	55.78	8	6.97		
<i>Glomus</i>	57.64	1	57.64	21.56	0.0001**
<i>Azospirillum</i>	16.89	1	16.89	6.32	0.0191*
Variedad x <i>Glomus</i>	90.25	3	30.08	11.25	0.0001**
Variedad x <i>Azospirillum</i>	118.98	3	39.66	14.84	<0.0001**
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	30.2	1	30.2	11.3	0.0026**
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	91.6	3	30.53	11.42	0.0001**
Error (b)	64.16	24	2.67		
Total	1352.2	47			

CV (%) = 2.96, Promedio = 55.25

El análisis de varianza (Tabla 3.27) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de la Variedad, *Glomus*, en la interacción de Variedad x *Azospirillum*, Variedad x *Glomus*, *Glomus* x *Azospirillum* y en la interacción triple entre Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.01)., se observa diferencia significativa en el efecto principal de *Azospirillum* (p valor < 0.05).; sin embargo, no existe diferencia significativa entre el factor principal de Bloques (p valor > 0.05). El promedio del peso hectolitrico es de 55.25 kg.hL⁻¹.

Tabla 3.28

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el peso hectolitrico de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (kg/hL ⁻¹)	%	Tukey 0.05				DMS
Señor del huerto			55.75		b				
Blanca de Junín			57.45		a	b			
Roja Pasankalla			59.46		a				3.45
Negra Collana			48.34		c				
		0	56.24	100	b				0.97
		1	54.26	96	a				
	0		55.62	100	a				0.97
	1		54.88	99	a				
Señor del huerto		0	57.77	100	a	b			3.13
		1	53.73	93	c				
Blanca de Junín		0	59.90	100	a				
		1	55.00	92		b	c		
Roja pasankalla		0	59.65	100	a				
		1	59.27	99	a				
Negra Collana		0	47.65	100					d
		1	49.03	103					d
Señor del huerto	0		55.37	100	c				3.13
	1		56.13	101	b	c			
Blanca de Junín	0		57.08	100	a	b	c		
	1		57.82	101	a	b	c		
Roja pasankalla	0		58.72	100	a	b			
	1		60.20	103	a				
Negra Collana	0		51.30	100					d
	1		45.38	88					e
	0	0	57.25	100	a				1.84
	1	0	55.23	96	b				
	0	1	53.98	94	b				
	1	1	54.53	95	b				
Señor del huerto	0	0	56.93	100	a	b	c	d	5.08
	1	0	58.60	103	a	b	c		
	0	1	53.80	95				c d e	
	1	1	53.67	94				c d e	
Blanca de Junín	0	0	59.50	100	a	b			
	1	0	60.30	101	a				
	0	1	54.67	92	b			c d	
	1	1	55.33	93	a	b	c	d	
Roja Pasankalla	0	0	59.10	100	a	b			
	1	0	60.20	102	a				
	0	1	58.33	99	a	b	c	d	
	1	1	60.20	102	a				
Negra Collana	0	0	53.47	100					d e
	1	0	49.13	92					e
	0	1	41.83	78					f
	1	1	48.93	92					e

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la Tabla 3.28 se observa la comparación de Tukey para el peso hectolitrico, la variedad INIA 415 Pasankalla y la variedad Blanca de Junín tiene diferencia estadística con 59.46

kg.hL⁻¹ y 57.45 kg.hL⁻¹ de peso hectolitrico respectivamente a las variedades Señor del Huerto y Negra Collana

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del peso hectolitrico en la variedad Señor del Huerto, de 3 % con *A. brasilense*, se redujo del efecto en 5 % con *G. iranicum* y en 6 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, el peso hectolitrico con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el peso hectolitrico en 1 % con *A. brasilense*, redujo en 8 % con *G. iranicum* y se incrementó en 3 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, el peso hectolitrico con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el peso hectolitrico en 2 % con *A. brasilense*, se redujo en 1 % con *G. iranicum* e incrementó en 2 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso hectolitrico con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana redujo el peso hectolitrico en 8 % con *A. brasilense*, en 12 % con *G. iranicum* y en 8 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso hectolitrico con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo

El *A. brasilense* es una bacteria que produce giberelinas, una fitohormona que induce la floración y fructificación en los cultivos, lo cual se traduce en un aumento del número de granos (Domingues et al., 2020). Sin embargo, en la variedad Negra Collana no se observó dicho efecto, posiblemente porque esta variedad no se adaptó adecuadamente al clima ni al piso altitudinal del ensayo, ya que requiere condiciones agroecológicas situadas entre los 3,800 y 3,950 m s.n.m. (Apaza et al., 2013).

En un estudio realizado con diferentes dosis de estiércol, se obtuvo un peso hectolítrico de 74.92 kg/hL, el valor promedio más alto del experimento (Alcón & Flores, 2018), el cual fue superior al registrado en el presente ensayo. Esto respalda que en algunos casos los granos de menor tamaño, presentan un mayor peso hectolítrico y, en consecuencia, generan una mayor cantidad de harina (SAGARPA, 2003, como se citó en Alcón & Flores, 2018).

Por otro lado, en una investigación sobre la determinación de la pureza y calidad del grano de quinua Blanca de Junín en condiciones de Viacha, La paz, Bolivia a una altitud de

3800 msnm, se reportó un peso hectolítrico de 70.42 kg/hL (Mamani et al., 2022), un resultado superior al obtenido en el presente estudio. Asimismo, Bonifacio et al. (2012, como se citó en Mamani et al., 2022) informaron que, en condiciones de Viacha en La Paz, el peso hectolítrico de variedades de quinua varía, alcanzando 73.7 kg/100 L en la quinua Roja Pasankalla y 81.6 kg/100 L en la quinua Negra Collana. Estos valores son más altos que los observados en las variedades Negra Collana y Pasankalla evaluadas en el presente trabajo.

3.2.7. Índice de cosecha

Tabla 3.29

Análisis de variancia para el índice de cosecha con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	563.63	2	281.81	2.97	0.1085
Variedad	471.15	3	157.05	1.65	0.2528
Error (a)	759.4	8	94.92		
<i>Glomus</i>	1244.34	1	1244.34	26.33	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	1335.94	1	1335.94	28.26	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	1269.15	3	423.05	8.95	0.0004**
Variedad x <i>Azospirillum</i>	1542.53	3	514.18	10.88	0.0001**
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	1252.79	1	1252.79	26.51	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	1267.66	3	422.55	8.94	0.0004**
Error (b)	1134.36	24	47.26		
Total	4254.03	47			

CV (%) = 15.99, Promedio = 42.99 %

El análisis de variancia (Tabla 3.29) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de *Glomus*, *Azospirillum* y en las interacciones doble de *Glomus* x *Azospirillum*, Variedad x *Glomus*, Variedad x *Azospirillum* y en la interacción triple de Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.01).; sin embargo, no existe diferencia significativa entre los efectos principales de Bloque y Variedad (p valor > 0.05). el promedio del índice de cosecha es de 42.99 %.

Tabla 3.30

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el índice de cosecha de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (%)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			40.45		a	12.74
Blanca de Junín			45.49		a	
Roja Pasankalla			39.38		a	
Negra Collana			46.66		a	
		0	41.63	100	a	4.1
		1	44.36	107	a	
	0		41.05	100	a	4.1
	1		44.94	109	a	
Señor del Huerto		0	38.63	100	a	13.15
		1	42.27	109	a	
Blanca de Junín		0	45.58	100	a	
		1	45.4	100	a	
Roja Pasankalla		0	39.34	100	a	
		1	39.41	100	a	
Negra Collana		0	42.96	100	a	
		1	50.37	117	a	
Señor del Huerto	0		35.3	100	b	13.15
	1		45.6	129	a	b
Blanca de Junín	0		42.53	100	a	b
	1		48.45	114	a	
Roja Pasankalla	0		42.01	100	a	b
	1		36.75	87	a	b
Negra Collana	0		44.37	100	a	b
	1		48.95	110	a	
	0	0	38.25	100	a	7.74
	0	1	43.85	115	a	
	1	1	44.88	117	a	
	1	0	45	118	a	
Señor del Huerto	0	0	34.55	100	a	21.36
	1	0	42.71	124	a	
	0	1	36.05	104	a	
	1	1	48.48	140	a	
Blanca de Junín	0	0	40.14	100	a	
	1	0	51.01	127	a	
	0	1	44.91	112	a	
	1	1	45.90	114	a	
Roja Pasankalla	0	0	39.09	100	a	
	1	0	39.59	101	a	
	0	1	44.92	115	a	
	1	1	33.91	87	a	
Negra Collana	0	0	39.23	100	a	
	1	0	46.69	119	a	
	0	1	49.52	126	a	
	1	1	51.21	131	a	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

El Índice de Cosecha (I.C.) se calcula dividiendo el peso de las semillas por el peso seco total de la planta; la FAO reportó un promedio de 0,30 para la quinua, aunque sus valores fluctúan entre 0,21 y 0,45 según la variedad considerada (Calvache & Valle, 2021).

La Tabla 3.30 presenta el análisis de comparación múltiple de Tukey para el I.C., revelando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las variedades estudiadas; en particular, las líneas INIA 420 Negra Collana, Blanca de Junín e INIA 441 Señor del Huerto muestran un índice de cosecha equivalente al de INIA 440.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del índice de cosecha en la variedad Señor del Huerto, de 24 % con *A. brasilense*, 4 % con *G. iranicum* y 40 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, el índice de cosecha con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el índice de cosecha en 27 % con *A. brasilense*, 12 % con *G. iranicum* y 14 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* sin embargo, el índice de cosecha con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el índice de cosecha en 1 % con *A. brasilense*, 15 % con *G. iranicum* y redujo la expresión de este carácter en 13 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el índice de cosecha con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el índice de cosecha en 19 % con *A. brasilense*, en 26 % con *G. iranicum* y 31 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el índice de cosecha con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo

En un estudio sobre el índice de cosecha y su relación con los macro-nutrientes en el grano de quinua, se reportó un valor máximo de 57 %, resultado superior al obtenido en el presente ensayo. Esta diferencia podría atribuirse a las condiciones climáticas y edáficas específicas que influyeron en el experimento (Calvache & Valle, 2021).

Asimismo, en una investigación realizada en Ecuador, se registró un índice de cosecha del 54 %, un valor relativamente alto que podría estar relacionado con variables como el rendimiento y la distancia entre surcos. A mayor rendimiento y mayor distancia de siembra, se ha observado un incremento en el índice de cosecha (Pinargote, 2018).

3.2.8. Biomasa

Tabla 3.31

Análisis de variancia para la biomasa con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	675.54	2	337.77	5.86	0.0271*
Variedad	806.93	3	268.98	4.67	0.0362*
Error (a)	460.87	8	57.61		
<i>Glomus</i>	2981.36	1	2981.36	26.43	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	1614.01	1	1614.01	14.31	0.0009**
Variedad x <i>Glomus</i>	303.91	3	101.3	0.9	0.4566
Variedad x <i>Azospirillum</i>	105.28	3	35.09	0.31	0.8172
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	110.22	1	110.22	0.98	0.3328
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	706.16	3	235.39	2.09	0.1286
Error (b)	2707.44	24	112.81		
Total	10598.5	47			

CV (%) = 29.83, Promedio = 34.45 g/planta

El análisis de varianza (Tabla 3.31) indica que existe diferencia altamente significativa en el efecto principal *Glomus* y *Azospirillum* (p valor < 0.01)., y se observa diferencia significativa entre Bloque y Variedad (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa entre el efecto doble de Variedad x *Glomus*, Variedad x *Azospirillum*, *Glomus* x *Azospirillum* y en la interacción triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum*; (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 29.83 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del biomasa es de 34.45 g/planta.

Tabla 3.32

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en la biomasa de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio (g/planta)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			35.58		a b	9.92
Blanca de Junín			38.40		a	
Roja Pasankalla			36.22		a b	
Negra Collana			27.58		b	
		0	26.59	100	b	6.33
		1	42.30	159	a	
	0		28.69	100	b	6.33
	1		40.21	140	a	
Señor del Huerto		0	24.95	100	b	20.31
		1	46.22	185	a	
Blanca de Junín		0	28.50	100	a b	
		1	48.30	169	a	
Roja Pasankalla		0	30.76	100	a b	
		1	41.68	136	a b	
Negra Collana		0	22.16	100	b	
		1	33.00	149	a b	
Señor del Huerto	0		28.92	100	a b	20.31
	1		42.24	146	a b	
Blanca de Junín	0		31.34	100	a b	
	1		45.46	145	a	
Roja Pasankalla	0		30.53	100	a b	
	1		41.91	137	a b	
Negra Collana	0		23.94	100	b	
	1		31.21	130	a b	
	0	0	19.47	100		c 11.96
	1	0	33.72	173		b
	0	1	37.90	195	a b	
	1	1	46.70	240	a	
Señor del Huerto	0	0	15.02	100		c 32.99
	1	0	34.87	232	a b	c
	0	1	42.83	285	a b	c
	1	1	49.60	330	a b	
Blanca de Junín	0	0	26.57	100	b c	
	1	0	30.44	115	a b c	
	0	1	36.12	136	a b c	
	1	1	60.48	228	a	
Roja Pasankalla	0	0	20.73	100	b c	
	1	0	40.80	197	a b c	
	0	1	40.33	195	a b c	
	1	1	43.03	208	a b c	
Negra Collana	0	0	15.56	100		c
	1	0	28.75	185	a b	c
	0	1	32.32	208	a b	c
	1	1	33.68	216	a b	c

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La biomasa se define como el total de materia orgánica que un organismo retiene en el ámbito vegetal; las plantas convierten la energía solar en energía química a través de la

fotosíntesis (Pinargote, 2018). En la Tabla 3.28 se presenta el análisis de Tukey para la biomasa: la variedad Blanca de Junín alcanza 38,4 g/planta y muestra una diferencia significativa frente a todas las otras, mientras que Pasankalla y Señor del Huerto no se distinguen entre sí; por su parte, Negra Collana registra el valor más bajo y se separa estadísticamente del resto.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento en la biomasa en la variedad Señor del Huerto, de 132 % con *A. brasilense*, 185 % con *G. iranicum* y 230 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, la biomasa con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó la biomasa en 15 % con *A. brasilense*, 36 % con *G. iranicum* y 128 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también la biomasa con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó la biomasa en 97 % con *A. brasilense*, 95 % con *G. iranicum* y en 108 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, la biomasa con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó la biomasa en 85 % con *A. brasilense*, se incrementó en 108 % con *G. iranicum* y 116 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, la biomasa con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo.

La aplicación de microorganismos tiene un impacto significativo en el incremento de la biomasa vegetal. *Azospirillum*, por ejemplo, produce fitohormonas que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que mejora su capacidad fotosintética y, en consecuencia, promueve un mejor desarrollo de órganos como hojas, tallos y raíces. Por su parte, *Glomus* posee la capacidad de movilizar nutrientes como fósforo (P) y zinc (Zn), poniéndolos a disposición de la planta y favoreciendo así su crecimiento y desarrollo integral (Noda, 2009, como se citó en Restrepo et al., 2019).

En un estudio realizado en Ecuador sobre la producción de biomasa en genotipos de quinua, se reportó un valor máximo de 33.51 g por planta (Pinargote, 2018). No obstante, en el presente ensayo se obtuvieron valores superiores en las variedades Blanca de Junín e INIA 441 Señor del Huerto, lo cual podría deberse a condiciones agroecológicas más favorables o al manejo agronómico aplicado. Asimismo, en una investigación realizada por Hirich et al. (s.f., como se citó en Pinargote, 2018), se reportaron valores de biomasa

en un mismo genotipo de quinua con una amplia variación, alcanzando un máximo de 95.62 g por planta y un mínimo de 12.97 g. la marcada diferencia se atribuye al tiempo térmico acumulado hasta el desarrollo del cultivo, ya que, a mayor tiempo térmico, mayor es la acumulación de biomasa.

3.3. Desarrollo de la raíz

3.3.1. Volumen de raíz

Tabla 3.33

Análisis de variancia para el volumen de la raíz con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	16.73	2	8.36	4.13	0.0587
Variedad	75.53	3	25.18	12.42	0.0022**
Error (a)	16.22	8	2.03		
<i>Glomus</i>	83.36	1	83.36	39.59	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	103.28	1	103.28	49.05	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	13.81	3	4.6	2.19	0.1159
Variedad x <i>Azospirillum</i>	26.45	3	8.82	4.19	0.0162*
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	10.71	1	10.71	5.08	0.0335*
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	22.4	3	7.47	3.55	0.0296*
Error (b)	50.54	24	2.11		
Total	361	47			

CV (%) = 26.45, Promedio = 5.49 cm³/planta

El análisis de varianza (Tabla 3.33) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de la Variedad, *Glomus* y *Azospirillum* (p valor <0.01), de igual manera se observa diferencia significativa en la interacción doble de Variedad x *Azospirillum*, *Glomus* x *Azospirillum* y en la interacción triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa entre el efecto principal de Bloque y Variedad x *Glomus* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 26.45 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del volumen de raíz es de 5.49 cm³/planta

Tabla 3.34

Prueba de Tukey para el efecto de *A. brasilense* y *G. iranicum* en el volumen de la raíz de cuatro variedades de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio (cm ³ /planta)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			5.71		a	1.86
Blanca de Junín			7.08		a	
Roja Pasankalla			5.58		a	
Negra Collana			3.57		b	
		0	4.25	100	b	0.86
		1	6.72	158	a	
	0		4.10	100	b	0.86
	1		6.88	168	a	
Señor del Huerto		0	4.20	100	c d	2.77
		1	7.22	172	a b	
Blanca de Junín		0	5.63	100	b c	
		1	8.53	152	a	
Roja Pasankalla		0	4.70	100	b c d	
		1	6.47	138	a b c	
Negra Collana		0	2.48	100	d	
		1	4.65	188	b c d	
Señor del Huerto	0		3.90	100	c	2.77
	1		7.52	193	a b	
Blanca de Junín	0		5.22	100	b c	
	1		8.95	171	a	
Roja Pasankalla	0		4.13	100	c	
	1		7.03	170	a b	
Negra Collana	0		3.13	100	c	
	1		4.00	128	c	
	0	0	2.82	100	c	1.63
	0	1	5.38	191	b	
	1	0	5.69	202	b	
	1	1	8.06	286	a	
Señor del Huerto	0	0	2.53	100	d e	4.51
	1	0	5.87	232	b c d e	
	0	1	5.27	208	b c d e	
	1	1	9.17	362	a b	
Blanca de Junín	0	0	4.27	100	c d e	
	1	0	7.00	164	a b c d	
	0	1	6.17	144	b c d e	
	1	1	10.9	255	a	
Roja Pasankalla	0	0	2.40	100	e	
	1	0	7.00	292	a b c d	
	0	1	5.87	245	b c d e	
	1	1	7.07	295	a b c	
Negra Collana	0	0	2.07	100	e	
	1	0	2.90	140	c d e	
	0	1	4.20	203	c d e	
	1	1	5.10	246	b c d e	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la Tabla 3.34 se observa la comparación de Tukey para el volumen de la raíz, las variedades Blanca de Junín, INIA 441 Señor del Huerto e INIA 415 Pasankalla no tienen

diferencia significativa entre sí, mientras que la variedad INIA 420 Negra Collana se diferencia a las demás variedades con el menor valor 3.57 cm³/planta.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del volumen de la raíz en la variedad Señor del Huerto, de 132 % con *A. brasilense*, 108 % con *G. iranicum* y 262 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, los volúmenes de las raíces con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el volumen de la raíz en 64 % con *A. brasilense*, 44 % con *G. iranicum* y 155 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también los volúmenes de las raíces con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el volumen de la raíz en 192 % con *A. brasilense*, 145 % con *G. iranicum* y en 195 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también los volúmenes de las raíces con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el volumen de la raíz en 40 % con *A. brasilense*, se incrementó en 103 % con *G. iranicum* y 146 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también los volúmenes de las raíces con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo

La aplicación conjunta de *A. brasilense* + *G. iranicum* evidenció un efecto sinérgico favorable sobre el desarrollo radicular, constituyéndose en el tratamiento más eficiente. *A. brasilense* promueve el crecimiento de las raíces mediante la biosíntesis de fitohormonas, particularmente ácido 3-indolacético (AIA), una auxina clave en la elongación celular, lo que se refleja en un incremento del volumen radicular (Paredes, 2013). De manera complementaria, *G. iranicum* desarrolla un micelio extramático extensivo, red de hifas externas al tejido radicular, que amplía significativamente la zona de exploración del sistema radical, mejorando así la absorción de agua y nutrientes esenciales (Pravia, 2023).

Este efecto ha sido corroborado en estudios previos, como en el caso del cultivo de melón, donde la inoculación con *Glomus iranicum* incrementó el volumen de raíces de 490 cm³/planta en el tratamiento testigo a 900 cm³/planta en las plantas tratadas, demostrando la eficacia del hongo en la estimulación del desarrollo radicular (Hernández, s.f.).

3.3.2. Peso seco de raíz

Tabla 3.35

Análisis de variancia para el peso seco de la raíz con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	2.22	2	1.11	2.94	0.1101
Variedad	37.87	3	12.62	33.45	0.0001**
Error (a)	3.02	8	0.38		
<i>Glomus</i>	13.96	1	13.96	19.59	0.0002**
<i>Azospirillum</i>	24.95	1	24.95	35.01	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	3.78	3	1.26	1.77	0.1798
Variedad x <i>Azospirillum</i>	6.78	3	2.26	3.17	0.0425*
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	1.2	1	1.2	1.69	0.2065
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	18.3	3	6.1	8.56	0.0005**
Error (b)	17.1	24	0.71		
	122.1				
Total	3	47			

CV (%) = 27.95, Promedio = 3.02 g

El análisis de varianza (Tabla 3.35) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de Variedad, *Glomus*, *Azospirillum* y en la interacción triple de Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.01); además se observa diferencia significativa en la interacción de Variedad x *Azospirillum* (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa en el efecto principal de Bloque, interacción Variedad x *Glomus* y *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 25.95 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del peso seco de raíz es de 3.02 g.

Tabla 3.36

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el peso seco de la raíz de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (g/planta)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			3.27		a b	0.8
Blanca de Junín			4.04		a	
Roja Pasankalla			3.17		b	
Negra Collana			1.60		c	
		0	2.50	100	b	0.5
		1	3.54	142	a	
	0		2.32	100	b	0.5
	1		3.72	160	a	
Señor del Huerto		0	2.47	100	b c d	1.61
		1	4.07	165	a b	
Blanca de Junín		0	3.36	100	a b c	
		1	4.73	141	a	
Roja Pasankalla		0	2.88	100	b c d	
		1	3.46	120	a b c	
Negra Collana		0	1.31	100	d	
		1	1.88	144	c d	
Señor del Huerto	0		2.20	100	c d e	1.61
	1		4.33	197	a b	
Blanca de Junín	0		3.09	100	b c d	
	1		5.00	162	a	
Roja Pasankalla	0		2.57	100	c d e	
	1		3.77	147	a b c	
Negra Collana	0		1.40	100	e	
	1		1.79	128	d e	
	0	0	1.80	100	c	0.95
	0	1	2.83	157	b	
	1	0	3.21	178	b	
	1	1	4.24	236	a	
Señor del Huerto	0	0	1.54	100	d e	2.62
	1	0	3.39	220	b c d e	
	0	1	2.86	186	b c d e	
	1	1	5.28	343	a b	
Blanca de Junín	0	0	3.18	100	b c d e	
	1	0	3.53	111	b c d e	
	0	1	3.00	94	b c d e	
	1	1	6.46	203	a	
Roja Pasankalla	0	0	1.38	100	d e	
	1	1	3.16	229	b c d e	
	0	1	3.75	272	b c d	
	1	0	4.38	317	a b c	
Negra Collana	0	0	1.10	100	e	
	1	0	1.52	138	d e	
	0	1	1.71	155	d e	
	1	1	2.06	187	c d e	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la Tabla 3.36 se observa la comparación de Tukey para el peso seco de la raíz, la variedad Blanca de Junín tiene diferencia significativa a las demás variedades con 4.4 g

de peso seco de raíz, las variedades INIA 441 Señor del Huerto e INIA 415 Pasankalla no tienen diferencia estadística entre sí; la variedad INIA 420 Negra Collana obtuvo el menor valor 1.6 g diferenciándose de las demás variedades.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del peso seco de la raíz en la variedad Señor del Huerto, de 44 % con *A. brasilense*, 61 % con *G. iranicum* y 27 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, el peso seco de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el peso seco de la raíz en 11 % con *A. brasilense*, redujo en 6 % con *G. iranicum* e incrementó en 103 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso seco de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el peso seco de la raíz en 217 % con *A. brasilense*, 172 % con *G. iranicum* y en 129 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso seco de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el peso seco de la raíz en 38 % con *A. brasilense*, se incrementó en 55 % con *G. iranicum* y 87 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso seco de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo

La aplicación combinada de *A. brasilense* + *G. iranicum*, mostró los resultados más favorables en el desarrollo radicular. *A. brasilense* estimula el crecimiento de las raíces principalmente mediante la producción de fitohormonas, destacando la auxina sintetizada por el ácido 3-indolacético (AIA), la cual promueve la elongación celular y, en consecuencia, el incremento del peso radicular (Paredes, 2013). Por su parte, *G. iranicum* también contribuye a este proceso mediante la producción de auxinas que favorecen la formación y alargamiento de pelos absorbentes, lo que mejora significativamente la absorción de nutrientes y agua, reflejándose en un mayor peso seco de raíces (Pravia, 2023).

En un estudio realizado en condiciones de Canaán, donde se evaluó el efecto de microorganismos, se reportó un peso seco de raíz de 7.87 g en la variedad INIA 441 Señor del Huerto con la aplicación de *A. brasilense* de forma individual. No obstante, con la aplicación conjunta de *A. brasilense* y *G. iranicum*, el peso de raíz alcanzó los 8.22 g, resultados superiores a los obtenidos en el presente ensayo (Quispe, 2023).

De igual manera, en la investigación de Pinargote (2018), llevada a cabo en condiciones agroecológicas de Ecuador, se obtuvo un valor máximo de 7.56 g de peso de raíz en genotipos de quinua, también superior a los registrados en el presente estudio. Estos hallazgos respaldan la efectividad de la inoculación con microorganismos benéficos para mejorar el desarrollo radicular en diferentes contextos agronómicos.

3.3.3. Longitud de raíz

Tabla 3.37

Análisis de variancia para la longitud de la raíz con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	27.68	2	13.84	2.44	0.1489
Variedad	89.31	3	29.77	5.25	0.0271*
Error (a)	45.4	8	5.67		
<i>Glomus</i>	48.91	1	48.91	9.68	0.0048*
<i>Azospirillum</i>	111.69	1	111.69	22.1	0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	38.92	3	12.97	2.57	0.0781
Variedad x <i>Azospirillum</i>	16.35	3	5.45	1.08	0.3769
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	16.06	1	16.06	3.18	0.0873
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	36.73	3	12.24	2.42	0.0906
Error (b)	121.27	24	5.05		
Total	515.23	47			

CV (%) = 12.22, Promedio = 18.40 cm

El análisis de varianza (Tabla 3.37) indica que existe diferencia altamente significativa en el efecto principal de *Azospirillum* (p-valor < 0.01); además, se observa diferencia significativa en el efecto principal de Variedad y *Glomus* (p-valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa entre el factor principal de Bloque, interacción de Variedad x *Glomus*, variedad x *Azospirillum*, *Glomus* x *Azospirillum* e interacción triple variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 12.22 % que es un valor medio, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio de la longitud de la raíz es de 18.40 cm.

Tabla 3.38

Prueba de Tukey para el efecto de *A. brasilense* y *G. iranicum* en la longitud de la raíz de cuatro variedades de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio (cm)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			19.01		a b	3.11
Blanca de Junín			19.97		a	
Roja Pasankalla			18.34		a b	
Negra Collana			16.26		b	
		0	17.46	100	b	1.34
		1	19.33	111	a	
	0		16.92	100	b	1.34
	1		19.87	117	a	
Señor del Huerto		0	17.64	100	b	4.3
		1	20.38	116	a b	
Blanca de Junín		0	17.97	100	a b	
		1	21.98	122	a	
Roja Pasankalla		0	17.89	100	a b	
		1	18.80	105	a b	
Negra Collana		0	16.36	100	b	
		1	16.16	99	b	
Señor del Huerto	0		16.93	100	b c	4.3
	1		21.09	125	a b	
Blanca de Junín	0		18.30	100	a b c	
	1		21.65	118	a	
Roja Pasankalla	0		17.35	100	a b c	
	1		19.33	111	a b c	
Negra Collana	0		15.11	100	c	
	1		17.41	115	a b c	
	0	0	15.56	100	b	2.53
	0	1	18.28	117	a	
	1	0	19.37	124	a	
	1	1	20.37	131	a	
Señor del Huerto	0	0	14.57	100	b	6.98
	1	0	20.71	142	a b	
	0	1	19.28	132	a b	
	1	1	21.48	147	a b	
Blanca de Junín	0	0	16.71	100	b	
	1	0	19.24	115	a b	
	0	1	19.89	119	a b	
	1	1	24.06	144	a	
Roja Pasankalla	0	0	15.50	100	b	
	1	0	20.27	131	a b	
	0	1	19.21	124	a b	
	1	1	18.38	119	a b	
Negra Collana	0	0	15.48	100	b	
	1	0	17.24	111	a b	
	0	1	14.73	95	b	
	1	1	17.58	114	a b	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La longitud de las raíces es variable, de 0.8 a 1.5 m su desarrollo y crecimiento está determinado por el genotipo, tipo de suelos, nutrición y humedad entre otros factores

(Gómez y Aguilar 2016). En la Tabla 3.38 se observa la comparación de Tukey para la longitud de la raíz, la variedad Blanca de Junín tiene diferencia significativa a comparación de las demás variedades, INIA 441 Señor del Huerto e INIA 415 Pasankalla no tienen diferencia significativa entre sí.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de la longitud de las raíces en la variedad Señor del Huerto, de 42 % con *A. brasilense*, 32 % con *G. iranicum* y 47 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, la longitud de las raíces con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó la longitud de las raíces en 15 % con *A. brasilense*, 19 % con *G. iranicum* y 44 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también la longitud de las raíces con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó la longitud de las raíces en 31 % con *A. brasilense*, 24 % con *G. iranicum* y en 19 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, la longitud de las raíces con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó la longitud de las raíces en 11 % con *A. brasilense*, se redujo en 5 % con *G. iranicum* y 14 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, la longitud de las raíces con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo.

La aplicación de ambos microorganismos obtuvo el mejor resultado, puesto que la acción del *A. brasilense* aumenta las raíces mediante la producción principalmente de la auxina, específicamente el ácido 3-inodolacético (AIA) (Paredes, 2013) y se traduce en el aumento de la longitud de raíces. Así mismo, el *G. iranicum* mediante la producción de auxinas que estimulan el crecimiento de los pelos absorbentes y se traduce en incrementar el crecimiento de las raíces (Pravia,2023).

En la investigación orientado a evaluar el efecto de la incorporación de microorganismos en el rendimiento de la quinua bajo condiciones agroecológicas de Canaán, se observó una longitud de raíz de 18.30 cm en la variedad INIA 441 Señor del Huerto con la aplicación de *Azospirillum brasilense*. Cuando se aplicó una combinación de *Azospirillum brasilense* con *Glomus iranicum*, la longitud de raíz alcanzó 19.82 cm, siendo ambos valores reportados por Quispe (2023). En comparación, los resultados del presente ensayo superaron dichos valores.

En el tratamiento sin la adición de microorganismos, Quispe (2023) reportó una longitud promedio de raíz de 16.85 cm, cifra que resulta superior a la obtenida en el presente trabajo (14.57 cm). Asimismo, con la aplicación exclusiva de *Glomus*, Quispe (2023) registró una longitud de raíz de 19.78 cm, mientras que en este estudio se alcanzó 20.38 cm, evidenciando un incremento positivo con respecto a los antecedentes.

Por otro lado, en condiciones agroclimáticas distintas, específicamente en la región de Huancavelica, Enríquez (2019) informó un valor promedio de longitud de raíz de 9.11 cm, considerablemente inferior al obtenido en el presente estudio.

3.3.4. Diámetro de raíz

Tabla 3.39

Análisis de variancia para el diámetro de la raíz con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	5.09	2	2.54	3.24	0.0933
Variedad	45.02	3	15.01	19.11	0.0005**
Error (a)	6.28	8	0.79		
<i>Glomus</i>	50.27	1	50.27	17.87	0.0003**
<i>Azospirillum</i>	28.29	1	28.29	10.06	0.0041**
Variedad x <i>Glomus</i>	19.67	3	6.56	2.33	0.0996
Variedad x <i>Azospirillum</i>	26.83	3	8.94	3.18	0.0422*
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	22	1	22	7.82	0.01*
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	38.86	3	12.95	4.6	0.0111*
Error (b)	67.51	24	2.81		
Total	223.28	47			

CV (%) = 24.75, Promedio = 6.78 mm

El análisis de varianza (Tabla 3.39) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de Variedad, *Glomus* y *Azospirillum* (p valor <0.01); además se observa diferencia significativa en la interacción de variedad x *Azospirillum*, *Glomus* x *Azospirillum* y en la interacción triple variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa en el efecto principal de Bloque y Variedad x *Glomus* (p valor > 0.05). El promedio del diámetro de raíz es de 6.78 mm.

Tabla 3.40

Prueba de Tukey para el efecto de *A. brasilense* y *G. iranicum* en el diámetro de la raíz de cuatro variedades de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio (mm)	%	Tukey 0.05	DMS	
Señor del Huerto			6.88		a	1.16	
Blanca de Junín			7.47		a		
Roja Pasankalla			7.59		a		
Negra Collana			5.17		b		
		0	5.93	100	b	0.99	
		1	7.63	129	a		
	0		6.26	100	b	0.99	
	1		7.29	116	a		
Señor del Huerto		0	6.14	100	a	b	3.21
		1	7.61	124	a	b	
Blanca de Junín		0	6.72	100	a	b	
		1	8.22	122	a		
Roja Pasankalla		0	6.26	100	a	b	
		1	8.93	143	a		
Negra Collana		0	4.59	100		b	
		1	5.74	125	a	b	
Señor del Huerto	0		5.79	100	a	b	3.21
	1		7.96	137	a		
Blanca de Junín	0		6.76	100	a	b	
	1		8.18	121	a		
Roja Pasankalla	0		7.83	100	a	b	
	1		7.36	94	a	b	
Negra Collana	0		4.68	100		b	
	1		5.66	121	a	b	
	0	0	5.05	100		b	1.89
	1	0	6.8	135	a	b	
	0	1	7.48	148	a		
	1	1	7.78	154	a		
Señor del Huerto	0	0	4.94	100		b	5.21
	1	0	7.35	149	a	b	
	0	1	6.63	134	a	b	
	1	1	8.58	174	a	b	
Blanca de Junín	0	0	6.19	100	a	b	
	1	0	7.25	117	a	b	
	0	1	7.34	119	a	b	
	1	1	9.11	147	a	b	
Roja Pasankalla	0	0	4.94	100		b	
	1	0	7.58	153	a	b	
	0	1	10.72	217	a		
	1	1	7.14	145	a	b	
Negra Collana	0	0	4.13	100		b	
	1	0	5.05	122		b	
	0	1	5.22	126		b	
	1	1	6.27	152	a	b	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

En la Tabla 3.40 se observa la comparación de Tukey para el diámetro de la raíz, las

variedades INIA 415 Pasankalla, Blanca de Junín e INIA 441 Señor del Huerto no tienen diferencia significativa entre sí, mientras que la variedad INIA 420 Negra Collana se diferencia a las demás variedades obteniendo el menor valor.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del diámetro de la raíz en la variedad Señor del Huerto, de 49 % con *A. brasilense*, 34 % con *G. iranicum* y 74 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, sin embargo, el diámetro de la raíz con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el diámetro de la raíz en 17 % con *A. brasilense*, 19 % con *G. iranicum* y 47 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también el diámetro de la raíz con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el diámetro de la raíz en 53 % con *A. brasilense*, 117 % con *G. iranicum* y en 45 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el diámetro de la raíz con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra incrementó el diámetro de la raíz en 22 % con *A. brasilense*, en 26 % con *G. iranicum* y 52 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el diámetro de la raíz con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo.

La aplicación solamente con *G. iranicum* obtuvo el mejor resultado, mediante la producción de auxinas que estimulan el crecimiento de los pelos absorbentes, y de la raíz principal que se traduce en incrementar el diámetro de las raíces (Pravia,2023). La simbiosis planta - *Glomus iranicum*, promueve una intensa red de micelio extramático estimulada por la elevada disponibilidad de nutrientes y agua en la solución del suelo (Hernandez, s. f.). El *Glomus iranicum* produce 4 veces más de micelio extramático significa hasta 4 veces más de capacidad de exploración de volumen de suelo que otros hongos (Bioestimulante Formador de Micorrizas | MycoUp», s. f.).

3.3.5. Número de ramificaciones

Tabla 3.41

Análisis de variancia para el número de ramificaciones de la raíz con aplicación de *A. brasilense* y *G. iranicum* en cuatro variedades de *Quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd.)
Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	35.21	2	17.61	19.39	0.0009**
Variedad	25.38	3	8.46	9.32	0.0055*
Error (a)	7.26	8	0.91		
<i>Glomus</i>	282.14	1	282.14	31.92	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	424.01	1	424.01	47.98	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	56.84	3	18.95	2.14	0.1211
Variedad x <i>Azospirillum</i>	55.45	3	18.48	2.09	0.1279
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	53.75	1	53.75	6.08	0.0212*
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	71.35	3	23.78	2.69	0.0688
Error (b)	212.11	24	8.84		
Total	1050.35	47			

CV (%) = 21.83, Promedio = 13.63 unidades

El análisis de varianza (Tabla 3.41) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de Bloque, *Glomus* y *Azospirillum* (p valor <0.01); además se observa diferencia significativa entre Variedad; *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa en la interacción doble Variedad x *Glomus*, Variedad x *Azospirillum* e interacción triple de Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 21.83 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del número de ramificaciones es de 13.63 unidades.

Tabla 3.42

Prueba de Tukey para el efecto de Azospirillum y Glomus en el número de ramificaciones de la raíz de cuatro variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (unidades)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			12.37		b	1.25
Blanca de Junín			14.08		a	
Roja Pasankalla			14.00		a	
Negra Collana			14.05		a	
		0	11.38	100	b	1.77
		1	15.87	139	a	
	0		10.80	100	b	1.77
	1		16.45	152	a	
Señor del Huerto		0	9.33	100	b	5.68
		1	15.4	165	a	
Blanca de Junín		0	11.68	100	a b	
		1	16.48	141	a	
Roja Pasankalla		0	12.57	100	a b	
		1	15.43	123	a	
Negra Collana		0	11.95	100	a b	
		1	16.15	135	a	
Señor del Huerto	0		8.87	100	c	5.68
	1		15.87	179	a b	
Blanca de Junín	0		11.17	100	b c	
	1		17.00	152	a	
Roja Pasankalla	0		12.03	100	a b c	
	1		15.97	133	a b	
Negra Collana	0		11.13	100	b c	
	1		16.97	152	a	
	0	0	8.04	100	c	3.35
	0	1	13.56	169	b	
	1	0	14.73	183	b	
	1	1	18.18	226	a	
Señor del Huerto	0	0	5.43	100	d	9.24
	1	0	13.23	244	a b c d	
	0	1	12.30	227	a b c d	
	1	1	18.50	341	a b	
Blanca de Junín	0	0	9.27	100	b c d	
	1	0	14.10	152	a b c d	
	0	1	13.07	141	a b c d	
	1	1	19.90	215	a	
Roja Pasankalla	0	0	8.87	100	c d	
	1	0	16.27	183	a b c	
	0	1	15.20	171	a b c	
	1	1	15.67	177	a b c	
Negra Collana	0	0	8.60	100	c d	
	1	0	15.30	178	a b c	
	0	1	13.67	159	a b c d	
	1	1	18.63	217	a	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La Tabla 3.42 presenta los resultados del análisis de comparación múltiple de Tukey en relación con el número de ramificaciones de la raíz. En dicho análisis, las variedades Blanca de Junín, INIA 420 Negra Collana e INIA 415 Pasankalla no muestran diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Por el contrario, la variedad INIA 441 Señor del Huerto destaca como la que tiene el menor número de ramificaciones, separándose significativamente del resto de las cultivares evaluadas.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de ramificaciones de la raíz en la variedad Señor del Huerto, de 144 % con *A. brasilense*, 127 % con *G. iranicum* y 241 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, las ramificaciones de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó las ramificaciones de la raíz en 52 % con *A. brasilense*, 41 % con *G. iranicum* y 115 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también las ramificaciones de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó las ramificaciones de la raíz en 83 % con *A. brasilense*, 71 % con *G. iranicum* y en 83 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las ramificaciones de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó las ramificaciones de la raíz en 78 % con *A. brasilense*, se incrementó en 59 % con *G. iranicum* y 117 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las ramificaciones de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo.

Paredes (2013) sostiene que *Azospirillum brasilense* interviene en la fisiología de la planta desde la rizosfera, donde, bajo condiciones óptimas, sintetiza ácido indol-acético y eso a su vez origina un aumento en el desarrollo de raíces secundarias. La población bacteriana se asienta principalmente en la zona de elongación y en la región de pelos radicales; en ese ámbito coloniza tanto la mucigel que envuelve a la raíz (colonización externa) como los espacios intercelulares dentro del órgano (colonización interna) (Domingues et al., 2020)

Por su parte, el *Glomus iranicum*, al establecer una relación mutualista con la planta, consigue una eficiencia tal que se traduce en una expansión considerable del sistema radicular y en la activación de procesos metabólicos esenciales, incluida la propia fotosíntesis. Este hongo micorrízico genera hasta cuatro veces más micelio extramático

que otras especies, lo que equivale a un volumen de suelo explorado cuatro veces mayor y, por ende, a una capacidad superior para absorber agua y nutrientes («Bioestimulante Formador de Micorrizas | MycoUp», s. f.)

Quispe (2023), en condiciones de Canaán, reportó con la aplicación de *A. brasilense* con *G. iranicum* 6.35 unidades de raíces en la variedad INIA 441 Señor del Huerto, mientras que el presente ensayo se obtuvo resultados superiores con el uso de ambos microorganismos (18.5 unidades). Además, con la aplicación solo de *A. brasilense* reportó 5.28 unidades valor inferior a lo obtenido en el presente ensayo.

Yupanqui (2024), en condiciones de Canaán a 2735 msnm en el cultivo de Kiwicha con la aplicación de *A. brasilense* reportó 7.03 unidades de raíces, valor inferior a lo que se obtuvo en el presente ensayo

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

1. La coinoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* promovió significativamente el crecimiento de las plantas de quinua. La variedad INIA 441 Señor del Huerto presentó un aumento destacado en la altura de planta y la longitud de panoja, mientras que la quinua INIA 415 Pasankalla mostró mejoras notables en el diámetro de panoja, diámetro de tallo y características del glomérulo (en longitud central y en diámetro).
2. En términos de rendimiento, la coinoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* resultó ser el tratamiento más efectivo. La variedad Blanca de Junín mostró mejoras notables en el peso de panoja, peso de granos por panoja y peso de mil semillas. Asimismo, la variedad INIA 441 Señor del Huerto se consolidó como una de las más productivas, al presentar un aumento significativo en el rendimiento de grano. Por otro lado, la variedad INIA 415 Pasankalla respondió favorablemente a la inoculación exclusiva con *Glomus*, reflejando un incremento en el diámetro de grano.
3. En cuanto al desarrollo del sistema radicular, la coinoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* promovió mejoras importantes en las características de la raíz. La variedad INIA 441 Señor del Huerto destacó por su notable aumento en el volumen radicular, mientras que la Blanca de Junín presentó mejoras en el peso seco, la longitud total de raíz y el número de ramificaciones.

RECOMENDACIONES

1. Es fundamental continuar los estudios sobre la coinoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en condiciones específicas de la zona alta de Ayacucho, principal área productora de quinua, para evaluar su efectividad y adaptabilidad en ambientes con características edafoclimáticas particulares.
2. Las variedades Señor del Huerto y Blanca de Junín mostraron una respuesta positiva destacada en rendimiento y adaptabilidad en condiciones de Canaán, con la aplicación de microorganismos, por lo que se recomienda su uso preferente en programas de producción, incorporando la inoculación como práctica agronómica para maximizar la productividad.
3. Dado que la variedad Negra Collana presentó bajo crecimiento y rendimiento en las condiciones del estudio, se sugiere su cultivo en zonas altas con características más adecuadas, ajustando la ubicación según su respuesta varietal para optimizar resultados.
4. Ampliar las investigaciones sobre el efecto de la coinoculación microbiana en cultivos tradicionales de la región andina, tales como maíz, arveja, frijol y trigo, para promover sistemas agrícolas más sostenibles y productivos mediante la biofertilización.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AgroPerú. (2020, noviembre 11). “*INIA 441-Señor del Huerto*”, la nueva variedad de quinua que rinde hasta 3.2 t/ha. *AGROPERÚ Informa*. <https://www.agroperu.pe/inia-441-senor-del-huerto-la-nueva-variedad-de-quinua-que-rinde-hasta-3-2-t-ha/>
- Alcón, V., & Flores, A. (2018). Evaluación de las variables agronómicas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y calidad de grano con aplicación de niveles de estiércol ovino y urea. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(1), 63–73. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182018000100006
- Alfaro, E. (2013). *Establecimiento del banco de germoplasma y caracterización fenotípica de accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Ayacucho* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio UNSCH. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/e59a88c3-bf6f-41c1-b92c-964125645d59>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú* (p. 82). Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/566>
- Asociación de Exportadores. (2024). *Envíos de granos andinos al mundo superaron los US\$ 43 millones*. ADEX. <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/envios-de-granos-andinos-al-mundo-superaron-los-us-43-millones/>
- Balaguera-López, H. E., Salamanca-Gutiérrez, F. A., García, J. C., & Herrera-Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas: Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 320–330. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2a12.pdf>
- Barrientos, W. (2023). *Formas de siembra y variedades en el rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willd). Canaán, 2750 msnm—Ayacucho* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio

UNSCH. <https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstreams/4cbdd67b-7392-41ac-af92-834cd49b3965/download>

- Becerra, A., & Cabello, M. (2007). Micorrizas arbusculares en plantines de *Alnus acuminata* (Betulaceae) inoculados con *Glomus intraradices* (Glomaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 42(3-4), 155–158.
- Bendezú, J. (2018). *Efecto de la germinación de tres variedades de quinua: Roja (INIA-415 Pasankalla), Negra (INIA 420-Negra Collana) y Blanca (Salcedo INIA) en la formulación y elaboración de una bebida funcional con capacidad antioxidante* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10085>
- Bioestimulante formador de micorrizas | MycoUp. (s. f.). *Symborg*. Recuperado el 10 de septiembre de 2024, de <https://symborg.com/pe/bioestimulantes/mycoup/>
- Bolo, J. D. (2019). *Fauna edáfica, microorganismos rizosféricos y propiedades físicas del suelo en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en Huando, Huancavelica* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4136>
- Burin, Y. (2016). *Rendimiento de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo tres láminas de riego por goteo* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1999/F06-B8-T.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Cabrales, E. (2017). Figura 3. Colonización de Endomicorriza. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Colonizacion-de-Endomicorriza-tomado-de-Davila-Ramos-Rosales-2009_fig3_327915888
- Calvache, M., & Valle, L. (2021). Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Alfa*, 5(13), 15–28. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.95>

- Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 409–421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- Centro de Investigaciones de Economía y Negocios Globales. (2021). *Panorama del sector agroindustrial: Quinoa*. ADEX. https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2021/06/CIEN_NSIM1_Junio_2021_quinoa.pdf
- Cepa de *Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum* var. *Nov* y su uso como bioestimulante. (2016). *Oficina Española de Patentes y Marcas España*, 14.
- Domingues, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., Galbeiro, S., Domingues Duarte, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., & Galbeiro, S. (2020). *Azospirillum* spp. En gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- Enriquez, W. (2019). *evaluación agronómica de seis variedades de quinoa (Chenopodium quinoa wild) en Acobamba - Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- FAO. (2011). *La quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. 66.
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinoa*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/76594aca-c6a8-45e0-97db-39905cd72575/content>
- Gordón-Mendoza, R., & Camargo-Buitrago, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 163–176. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16920>
- Gutiérrez, J., Felípez, J., Navia, M., & Ortuño, N. (2018). Selección de bacterias fijadoras de nitrógeno en plantas de *Chenopodium quinoa* Willd. (Quinoa). *Revista de Agricultura*, 58(2), 25–32. <https://cifumss.agro.bo/rev-agric/pdf/rev58/rev58-2.pdf>
- Hernández, F. (s. f.). *Modelo integral microbiano (MIM) en cultivos hortícolas y cereales en suelos salinos y con escasez hídrica*. ANPROS Chile. <https://www.anproschile.cl/wp-content/uploads/2021/07/FERNANDO-HERNANDEZ.pdf>

- Huamanculi, H. (2017). *Caracterización y rendimiento de cinco cultivares de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) de grano amarillo, Canaán a 2735 msnm-Ayacucho* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio UNSCH.
https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/2654/1/TESIS%20AG1158_Hua.pdf
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (s. f.). *Instalan parcela demostrativa de avena INIA 901 Mantaro 15 en localidad de Chuquitambo, Huancavelica*. Recuperado el 30 de septiembre de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/inia/noticias/673121-instalan-parcela-demostrativa-de-avena-inia-901-mantaro-15-en-localidad-de-chuquitambo-huancavelica>
- León-Fajardo, M., Mancilla-Felípez, J. D., & Ortuño-Castro, F. N. (2019). Evaluación de bacterias endófitas promotoras de crecimiento en el cultivo de quinua. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 7(2), 88–99.
- Licea-Herrera, J. I., Quiroz-Velásquez, J. D. C., & Hernández-Mendoza, J. L. (2020a). Impacto de *Azospirillum brasilense*, una rizobacteria que estimula la producción del ácido indol-3-acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 34–39.
- Luna Quecaño, J. C. (2021). *Efectos de la aplicación del hongo micorrízico vesículo-arbuscular (Glomus intraradices) en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Puno* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNAP.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17150>
- Mamani, E., Bonifacio, A., Taboada, G., & Angulo, F. (2022). Determinación de la pureza y calidad de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) dulce y amarga de variedades comerciales, en Viacha – La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(1), 78–84. <https://doi.org/10.53287/qdjk7329or48t>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (s. f.). *Historia de la quinua*. Recuperado el 12 de julio de 2024, de <https://www.midagri.gob.pe/portal/444-granos-andinos/9380-historia-de-la-quinua>

- Morote, M. (2014). *Rendimiento de tres variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en tres densidades de planta bajo labranza mínima, Canaán 2750 msnm Ayacucho* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2066>
- Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., & Marathee, J. P. (2001). *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro* (FAO, UNAPuno, CIP, Eds.). FAO Oficina Regional para América Latina y el Caribe y Universidad Nacional del Altiplano https://www.researchgate.net/publication/350358426_Quinoa_Chenopodium_quinoa_Will_ancestral_cultivo_andino_alimento_del_presente_y_futuro
- Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Argentina]. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Pérez, A. (2005). *Manejo del cultivo de quinua en la sierra central* [Manual técnico]. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/744/2/P%20C3%A9rez-Manejo_cultivo_de_quinua.pdf
- Pinargote, J. J. (2018). *Producción de biomasa y determinación del índice de cosecha en genotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en la finca experimental La María* [Tesis de licenciatura].
- Pinto, M. (s. f.). *Aspectos de la fisiología del cultivo de la quinua* [Informe técnico]. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6727/NR41419.pdf?>
- Pravia, A. (2023, 8 de junio). ¿Qué es *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* y por qué es mejor que otros hongos formadores de micorrizas? *Symborg*. <https://symborg.com/pe/actualidad-peru/glomus-iranicum-var-tenuihypharum/>
- Quispe, E. (2016). *Evaluación del rendimiento de Chenopodium quinoa Willd. variedad Blanca*

- Junín en Chugar, Sánchez Carrión, La Libertad* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/3135>
- Quispe, J. (2023). *Microorganismos eficientes en el rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow) Ayacucho, 2023.*
- Quispe, J., Camasca, A., Esquivel, R., García-Blasquez, C., & Alarcón, S. (2021). *Densidades de planta, Trichoderma y Azospirillum en el rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.*
- Restrepo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., Molina Guzmán, L. P., Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., & Molina Guzmán, L. P. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. *Idesia (Arica)*, 37(1), 35-44. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000301>
- Sánchez, A. (2019). “Composición química proximal, minerales y capacidad antioxidante de hojas de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa) en diferentes etapas fenológicas” [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4273/sanchez-pizarro-augusto-lewis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., Ortiz, R., Otazu, V., Rea, J., Salas, B., & Zanabria, E. (1979). *Quinua y Kañiwa, cultivos andinos.* <file:///C:/Users/dreek/Downloads/CDRP21058079e.pdf>
- Torre, Y. O., Cruz, W. V., & Maldonado, J. R. (2020). Efecto de tres dosis de materia orgánica con la inoculación de microorganismos mejoradores del suelo en el rendimiento del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Will.), variedad Pasankalla, en centro poblado de Huanchac, Independencia-Ancash. *Aporte Santiaguino*, ág. 248-259. <https://doi.org/10.32911/as.2020.v13.n2.738>
- www.ilogica.cl, I.-. (s. f.). Nutricionistas UC promueven la Quínoa. *Carrera Nutrición y Dietética*. Recuperado 13 de julio de 2024, de <https://nutricion.uc.cl/noticias/nutricionistas-uc-promueven-la-quinua/>

Yupanqui, R. (2024). *Densidad de plantas y microorganismo (TRichoderma y Azospirillum) en el rendimiento de Kiwicha (Amaranthus caudatus L.) Canaán 2735 msnm., Ayacucho.* Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

ANEXOS

Anexo 1

Resultados de análisis de suelo de la parcela experimental de la Estación Experimental Canaán



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO N° 11288-23/SU/ LABSAF - CANAAN

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	:	PROSEM
Propietario / Productor	:	PROSEM - EEA Canaán
Dirección del cliente	:	Av. Abancay N° 299 - Ayacucho
Solicitado por	:	Samuel Sanabria Quispe
Muestreado por	:	Cliente
Número de muestra(s)	:	1
Producto declarado	:	Suelo agrícola
Presentación de las muestras(s)	:	Bolsas de plástico transparente
Referencia del muestreo	:	Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s)	:	Ayacucho - Huamanga - Ayacucho
Fecha(s) de muestreo	:	27/10/2023 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	:	02/11/2023
Lugar de ensayo	:	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Canaán
Fecha(s) de análisis	:	03/11/2023 al 10/11/2023
Cotización del servicio	:	101-23-CA
Fecha de emisión	:	10/11/2023

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1							
Código de Laboratorio	SU-1584-CA-23							
Matriz Analizada	Suelo							
Fecha de Muestreo	27/10/2023 (*)							
Hora de Inicio de Muestreo (h)	09:30							
Condición de la muestra	Conservada							
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	-							
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	7.80					
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	13.10					
Materia Orgánica (**)	%	--	2.30					
Nitrógeno (**)	%	--	0.12					
Fósforo disponible (**)	mg/kg	--	15.79					
Potasio disponible (**)	mg/kg	--	380.26					
Carbonato de calcio (**)	%	--	0.00					
Acidez Intercambiable (**)	cmol (+)/kg	--	0.00					
Textura (**)								
Arena	%	--	40.00					
Limo	%	--	46.00					
Arcilla	%	--	14.00					
Clase Textural	---	--	Franco					
Bases Intercambiables (**)								
Calcio Intercambiable (**)	cmol (+)/kg	--	37.93					
Magnesio Intercambiable (**)	cmol (+)/kg	--	6.10					
Potasio Intercambiable (**)	cmol (+)/kg	--	1.99					
Sodio Intercambiable (**)	cmol (+)/kg	--	0.46					
CIC (**)	cmol (+)/kg	--	46.48					
Microelementos								
Fe	ppm	0.10	0.00					
Cu	ppm	0.10	0.00					
Zn	ppm	0.10	0.00					
Mn	ppm	0.10	0.00					



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Direccion: Av. Abancay N° 299, Ayacucho - Huamanga - Ayacucho

Página 1 de 2
F-46 / Ver.03
www.inia.gob.pe

Anexo 2

Catálogo de fotos de la inoculación de semillas de quinua con *Azospirillum brasilense* y dosis de refuerzo



Nota: a. semillas de quinua separados por tratamientos y variedades b. inoculación de semillas de quinua con *Azospirillum* en líquido c. inoculación de semillas de quinua con *Azospirillum* en turba d. embolsado de semillas para su siembra respectiva e. mezcla de *Azospirillum* en líquido con 20 litros de agua en etapa de panojamiento f. incorporación de *Azospirillum* líquido en la etapa de panojamiento

Anexo 3
*Inoculación a las plantas de quinua con *Glomus iranicum**



Nota: a. pesado del producto comercial Mycoup b. mezclado del producto comercial Mycoup con 20 litros de agua c. incorporación de *Glomus* a las plantas de quinua, tratando de llegar a las raíces, en etapa de inicio de panojamiento.

Anexo 4
Manejo agronómico del cultivo de quinua



Nota: **a.** reconocimiento de terreno que estuvo previo volteado y surcado **b.** preparación de abono Mallki **c.** abonamiento de fondo **d.** siembra **e.** tapado de semillas **f.** riego a gravedad **g.** primer deshierbo **h.** control fitosanitario **i.** limpieza de la parcela por incidencia de malezas **j.** corte **k.** trilla manual

Anexo 5

Evaluaciones de las variables de medida en el cultivo de quinua



Nota: a. selección de plantas a evaluar b. medición de altura de planta c. medición de los parámetros de desarrollo de la raíz d. medición de peso de 1000 semillas e. trillado para la medición de peso de grano por panoja f. medición de diámetro de grano g. medición de volumen de raíz h. secado en estufa para calcular la biomasa i. medición de peso hectolítrico

Anexo 6

Fotografías de las plantas de quinua evaluadas entre tratamientos de la variedad Blanca de Junín



Nota: a.comparación de los tratamientos *Azospirillum* + *Glomus*, *Azospirillum*, *Glomus*, Testigo b. panojas con inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* c. panojas sin inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* d. tallos de quinua con inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* e. tallos de quinua sin inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* f. raíces de quinua con inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* g. raíces de quinua sin inoculación de *Azospirillum* y *Glomus*

Anexo 7

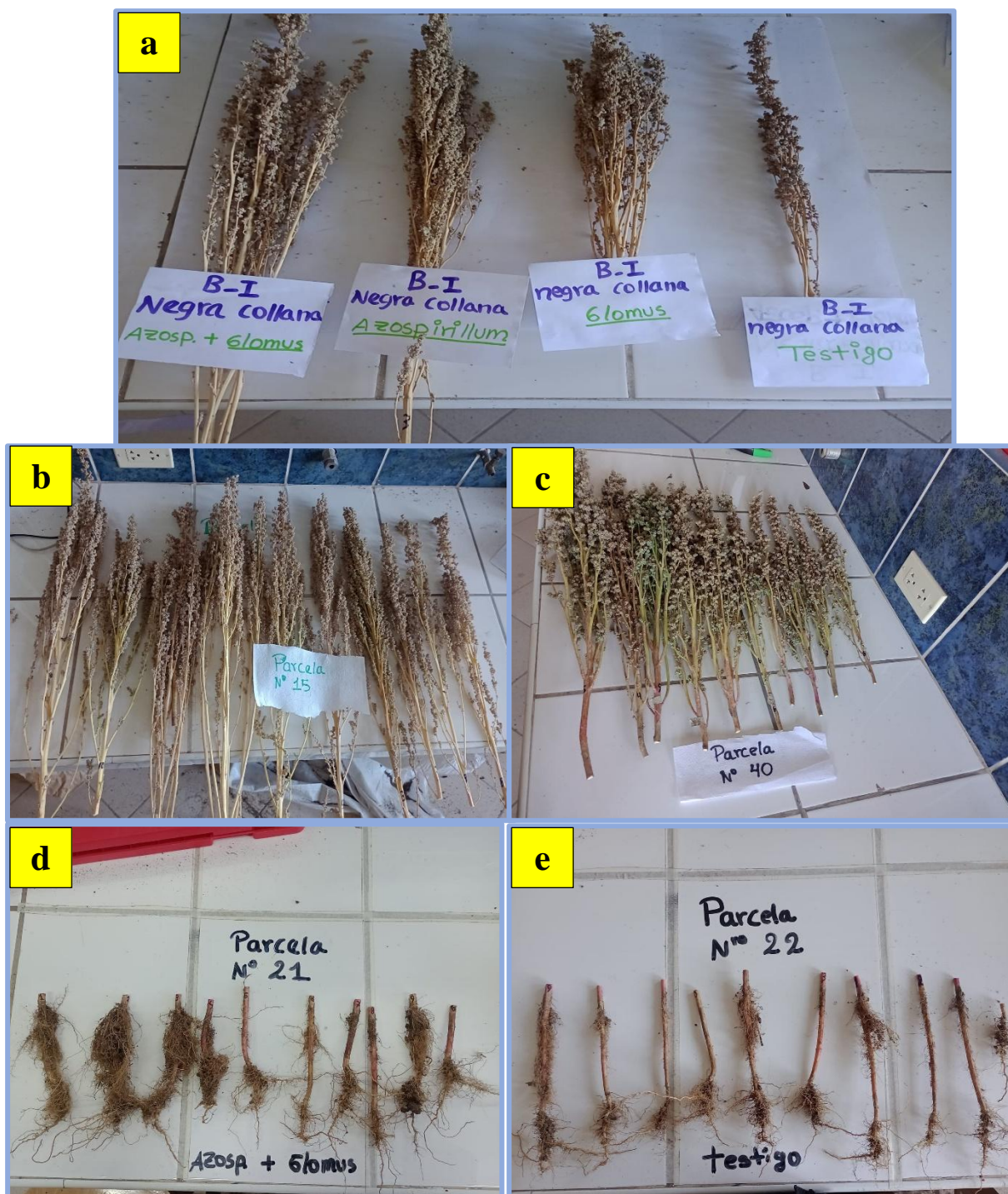
Fotografías de las plantas de quinua evaluadas entre tratamientos de la variedad Señor del Huerto INIA 441



Nota: a. panojas con inoculación de *Azospirillum* + *Glomus* b. panojas sin inoculación de *Azospirillum* + *Glomus* c. tallos con inoculación de *Azospirillum* + *Glomus* d. tallos sin inoculación de *Azospirillum* + *Glomus* e. raíces de quinua inoculadas con *Azospirillum* + *Glomus* f. raíces de quinua sin inoculación de microorganismos

Anexo 8

Fotografías de las plantas de quinua evaluadas entre tratamientos de la variedad Negra Collana INIA 420



Nota: a.comparación de los tratamientos *Azospirillum* + *Glomus*, *Azospirillum*, *Glomus*, Testigo b. panojas con inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* c. panojas con inoculación de *Glomus* d. raíces de quinua con inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* g. raíces de quinua sin inoculación de *Azospirillum* y *Glomus*

Anexo 9

Fotografías de las plantas de quinua evaluadas entre tratamientos de la variedad Pasankalla 415



Nota: **a.** panojas con inoculación de *Azospirillum* + *Glomus* **b.** panoja sin inoculación de *Azospirillum* + *Glomus* **c.** medición de diámetro de glomérulo de panoja con inoculación de microorganismos **d.** medición de diámetro de tallo **e.** raíces de quinua inoculadas con *Azospirillum* + *Glomus* **f.** raíces de quinua sin inoculación de *Azospirillum* + *Glomus*



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. MIRIAM BRENDA GUTIERREZ SANCHEZ

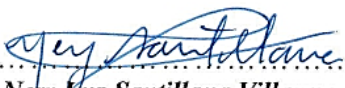
R.D. N° 153-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los once días del mes de julio del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por la Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva, Dr. José Antonio Quispe Tenorio como asesor, Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa y el M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Azospirillum brasilense** y **Glomus iranicum** en el rendimiento de cuatro variedades de quinua (**Chenopodium quinoa Willd.**) Canaán 2735 msnm, Ayacucho, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrónoma, presentado por la Bachiller **MIRIAM BRENDA GUTIERREZ SANCHEZ**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberacion y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva	17	15	16	16
Dr. José Antonio Quispe Tenorio	17	17	17	17
Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa	16	15	16	16
M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino	15	14	15	15
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.



Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva
 Presidente



Dr. José Antonio Quispe Tenorio
 Asesor



Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa
 Jurado



M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino
 Jurado



Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
 Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

***Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en el rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho**

Autor : Miriam Brenda Gutierrez Sanchez
Asesor : José Antonio Quispe Tenorio

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **cero (00 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2719700235

Ayacucho, 23 de julio de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de originalidad de

Azospirillum brasilense y
Glomus iranicum en el
rendimiento de cuatro
variedades de quinua
(Chenopodium quinoa Willd.)
Canaán 2735 msnm, Ayacucho
por Miriam Brenda Gutierrez Sanchez

Fecha de entrega: 23-jul-2025 08:26p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2719700235

Nombre del archivo: TESIS_EN_CULTIVO_DE_QUINUA_MIRIAM_BRENDA_GUTIERREZ_SANCHEZ.docx
(26.83M)

Total de palabras: 38313

Total de caracteres: 186651

Azospirillum brasilense y Glomus iranicum en el rendimiento de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

***Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en el rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho**

Miriam Brenda Gutierrez Sanchez¹, José Antonio Quispe Tenorio²

Área de investigación: Medio Ambiente

Línea de investigación: Sistemas de Producción Agrícola

miriam.gutierrez.01@unsch.edu.pe

jose.quispe@unsch.edu.pe

RESUMEN

La alta demanda de quinua orgánica exige a los agricultores el uso de abonos orgánicos en la producción. El objetivo fue evaluar el efecto de los microorganismos promotores: *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. tenuihypharum en el crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de quinua: INIA 441 Señor del Huerto, Blanca de Junín, INIA 415 Pasankalla e INIA 420 Negra Collana, con el Diseño de Parcelas Divididas en BCA. Las semillas de quinua se peletizaron con *Azospirillum brasilense* en la dosis de 1.56 kg/ha (turba) y 1.17 L/ha (líquido) a 1.0×10^8 UFC /ml. El inoculante *Glomus iranicum* en la dosis de 3kg/ha con 120 propágulos/g. De las variables evaluadas con la co-inoculación *Azospirillum-Glomus* se obtuvo resultados superiores, en la altura de planta y longitud de panoja la variedad INIA 441 Señor del Huerto superó en 14.59 cm y 21.81 cm respectivamente, al testigo; en diámetro de tallo, la variedad Blanca de Junín incrementó en 1.84 cm respecto al testigo; en diámetro de panoja la variedad INIA 415 Pasankalla fue superior al testigo en 4.11 cm y en longitud central de glómulo y diámetro de glómulo fue superior con 15.19 cm y 13.17 mm respectivamente; el rendimiento del grano de quinua incrementó en 2.76 T/ha respecto al testigo con la aplicación de *Azospirillum-Glomus* en la variedad Blanca de Junín; la co-inoculación de *Azospirillum-Glomus*, respecto al peso fresco, peso seco y longitud de raíz, y número de ramificaciones de la variedad Blanca de Junín superó al testigo con 4.72 g, 3.28g, 7.35 cm y 10.63 unidades respectivamente. La co-inoculación con *Azospirillum-Glomus* en las variedades Blanca de Junín, INIA 441 Señor del Huerto e INIA 415 Pasankalla incrementó significativamente en el crecimiento, rendimiento y desarrollo de raíz con respecto a la variedad e INIA Negra Collana.

Palabras clave: *Azospirillum brasilense*, *Glomus iranicum*, co-inoculación, quinua

***Azospirillum brasilense* and *Glomus iranicum* on the yield of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties in Canaán, 2735 masl, Ayacucho**

Miriam Brenda Gutierrez Sanchez¹, José Antonio Quispe Tenorio²

Área de investigación: Medio Ambiente

Línea de investigación: Sistemas de Producción Agrícola

miriam.gutierrez.01@unsch.edu.pe

jose.quispe@unsch.edu.pe

ABSTRACT

The high demand for organic quinoa requires farmers to use organic fertilizers in production. The objective of this study was to evaluate the effect of plant growth-promoting microorganisms—*Azospirillum brasilense* and *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*—on the growth and development of four quinoa varieties: INIA 441 Señor del Huerto, Blanca de Junín, INIA 415 Pasankalla, and INIA 420 Negra Collana, using a Split-Plot Design in a Randomized Complete Block Design (RCBD). quinoa seeds were pelletized with *Azospirillum brasilense* at a dose of 1.56 kg/ha (peat-based) and 1.17 L/ha (liquid) at 1.0×10^8 CFU/mL. The *Glomus iranicum* inoculant was applied at a rate of 3 kg/ha with 120 propagules/g. Among the variables evaluated, the co-inoculation of *Azospirillum-Glomus* yielded superior results. In terms of plant height and panicle length, the variety INIA 441 Señor del Huerto exceeded the control by 14.59 cm and 21.81 cm, respectively. For stem diameter, the variety Blanca de Junín showed an increase of 1.84 cm compared to the control. INIA 415 Pasankalla outperformed the control in panicle diameter by 4.11 cm and in central glomerule length and glomerule diameter with values of 15.19 cm and 13.17 mm, respectively. Grain yield of quinoa increased by 2.76 T/ha compared to the control with the application of *Azospirillum-Glomus* in the Blanca de Junín variety. Regarding fresh weight, dry weight, root length, and number of branches, Blanca de Junín surpassed the control by 4.72 g, 3.28 g, 7.35 cm, and 10.63 units, respectively. The co-inoculation with *Azospirillum-Glomus* in the Blanca de Junín, INIA 441 Señor del Huerto, and INIA 415 Pasankalla varieties significantly enhanced growth, yield, and development compared to the INIA 420 Negra Collana variety.

Keywords: *Azospirillum brasilense*, *Glomus iranicum*, co-inoculation, quinoa

1. INTRODUCCIÓN

La quinua es un cultivo de gran importancia en Perú y la región andina, tanto por su valor nutricional como por su relevancia histórica y cultural. Originaria de los andes, fue domesticada desde tiempos ancestrales, lo que ha dado lugar a una amplia diversidad genética adaptada a diversas condiciones ambientales (Tapia et al., 1979; Mujica et al., 2004). Actualmente, la quinua se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4,000 msnm en diversas regiones del Perú, destacando por su resistencia a la sequía y a temperaturas extremas, lo que la convierte en un cultivo clave frente al cambio climático (FAO, 2011). Ayacucho fue la segunda región exportadora de quinua orgánica en 2021 (INIA, s. f.) y en 2024 sus exportaciones aumentaron en 42.1 %, con Estados Unidos como principal destino (ADEX, 2024). Su creciente demanda internacional se debe a su alto contenido proteico (12–16 %) y la presencia de todos los aminoácidos esenciales (Pérez, 2005). El aumento en la demanda de quinua orgánica enfrenta desafíos como la escasez y el alto costo de abonos orgánicos, lo que ha impulsado el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal como alternativa sostenible. *Azospirillum brasilense* favorece el desarrollo de las plantas mediante la producción de fitohormonas y el fortalecimiento del sistema radicular (Licea-Herrera et al. 2020; Domínguez et al. 2020). Por su parte, *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*, un hongo micorrízico arbuscular, mejora la absorción de nutrientes como fósforo y zinc a través de relaciones simbióticas con las raíces (Pravia, 2023). La co-inoculación de ambos microorganismos ha mostrado efectos sinérgicos, incrementando el rendimiento, la tolerancia al estrés y la eficiencia en el uso de recursos (Restrepo et al. 2019).

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* en el crecimiento, rendimiento y desarrollo de raíz de cuatro variedades de Quinua, INIA 441 Señor del Huerto, Blanca de Junín, INIA 415 Pasankalla e INIA 420 Negra Collana, en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se instaló a una altitud de 2735 msnm, con coordenadas geográficas 13°08'05''S y 74°32'00'' O, Estación Experimental Agraria Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. El lugar tiene un clima húmedo, con rango de temperaturas que varían entre 9 °C y 26 °C, con precipitación media anual de 695 mm.

La investigación se realizó entre los meses de noviembre del 2023 hasta mayo del 2024.

El material genético estuvo conformado por los microorganismos *A. brasilense* y *G. iranicum*, junto con cuatro variedades de quinua: Blanca de Junín, INIA 441 Señor del Huerto, INIA 420 Negra Collana e INIA 415 Pasankalla.

2.1. Características físico-químicas del suelo

Se tomó muestras de suelo y se llevó a analizar al laboratorio de aguas y suelos (LABSAF) de la Estación Experimental Canaán- INIA, el cual arrojó los siguientes resultados:

El suelo de Canaán tuvo un pH ligeramente alcalino (7.8), conductividad eléctrica normal ($0.13 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), materia orgánica medio (2.3%), fósforo medio (15.79 ppm), potasio muy alto (380.26 ppm), de clase textural franco.

2.2. Tratamientos

Tabla 2.5

Tratamientos de cuatro variedades de quinua con Azospirillum brasilense y Glomus iranicum

Tratamiento	Parcela	Variedades de quinua	Combinaciones	Subparcela
				<i>Azospirillum brasilense</i> - <i>Glomus iranicum</i>
t ₀₁	V ₁	INIA 441 Señor del Huerto	Te	Testigo (sin microorganismos)
t ₀₂	V ₁	INIA 441 Señor del Huerto	Az	<i>Azospirillum brasilense</i>
t ₀₃	V ₁	INIA 441 Señor del Huerto	Gl	<i>Glomus iranicum</i>
t ₀₄	V ₁	INIA 441 Señor del Huerto	Az + Gl	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Glomus iranicum</i>
t ₀₅	V ₂	Blanca de Junín	Te	Testigo (sin microorganismos)
t ₀₆	V ₂	Blanca de Junín	Az	<i>Azospirillum brasilense</i>
t ₀₇	V ₂	Blanca de Junín	Gl	<i>Glomus iranicum</i>
t ₀₈	V ₂	Blanca de Junín	Az + Gl	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Glomus iranicum</i>
t ₀₉	V ₃	INIA 415 Pasankalla	Te	Testigo (sin microorganismos)
t ₁₀	V ₃	INIA 415 Pasankalla	Az	<i>Azospirillum brasilense</i>
t ₁₁	V ₃	INIA 415 Pasankalla	Gl	<i>Glomus iranicum</i>
t ₁₂	V ₃	INIA 415 Pasankalla	Az + Gl	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Glomus iranicum</i>
t ₁₃	V ₄	INIA 420 Negra Collana	Te	Testigo (sin microorganismos)
t ₁₄	V ₄	INIA 420 Negra Collana	Az	<i>Azospirillum brasilense</i>
t ₁₅	V ₄	INIA 420 Negra Collana	Gl	<i>Glomus iranicum</i>
t ₁₆	V ₄	INIA 420 Negra Collana	Az + Gl	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Glomus iranicum</i>

Se evaluaron 16 tratamientos resultantes de la combinación de tres factores: *A. brasilense* (2 niveles), *G. iranicum* (2 niveles) y cuatro variedades de quinua, como se detalla en la Tabla 2.1

Los tratamientos incluyeron:

Te (testigo): sin aplicación de microorganismos.

Az: aplicación de *A. brasilense* en forma sólida (1.56 kg/ha) y líquida (1.17 L/ha) antes de la siembra, a una concentración de 1.0×10^8 UFC/g o ml, más refuerzo líquido (1.15 L/ha) en estado de panojamiento.

Gl: aplicación de *G. iranicum* (3 kg/ha) en el aporque, en estado de inicio de panojamiento.

Az + Gl: combinación de *A. brasilense* y *G. iranicum* en las mismas dosis anteriores.

2.3. Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron según un diseño de parcelas divididas que se condujo dentro de un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones (Cochran y Cox, 1990); en este esquema, las parcelas fueron asignadas a las cuatro variedades de quinua, mientras que las subparcelas recibieron una de las cuatro combinaciones de *A. brasilense* y *G. iranicum*.

El modelo aditivo lineal: $Y_{ijkl} = \mu + R_l + V_i + (VR)_{il} + A_j + G_k + (VA)_{ij} + (VG)_{ik} + (AG)_{jk} + (VAG)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$; Donde: Y_{ijkl} : Observación; μ : Promedio general; R_l : Efecto del l -ésimo bloque; V_i : Efecto de la i -ésima variedad; $(VR)_{il}$: Efecto de la interacción V x R (Error a); A_j : Efecto del j -ésimo nivel de *Azospirillum*; G_k : Efecto del k -ésimo nivel de *Glomus*; $(VA)_{ij}$: Efecto de la interacción V x A; $(VG)_{ik}$: Efecto de la interacción V x G; $(AG)_{jk}$: Efecto de la interacción A x G; $(VAG)_{ijk}$: Efecto de la interacción V x A x G; ϵ_{ijkl} : Error experimental (Error b)

2.4. Manejo agronómico

El terreno se preparó el 15 de noviembre de 2023 con arado de discos y nivelación, se abrieron surcos a 0.80 m de distancia. Se aplicaron 175 kg de abono orgánico Mallki como abonamiento de fondo, para no afectar la actividad microbiana.

La inoculación de las semillas de quinua con *A. brasilense* se realizó el mismo día de la siembra, utilizando inoculantes en forma sólida y líquida. El procedimiento consistió en mezclar 4 g del inoculante sólido con 3 ml del líquido y 15 ml de goma arábica; luego se incorporaron 126 g de semillas correspondientes a los tratamientos con *A. brasilense* y *A. brasilense* + *G. iranicum*. Finalmente, se añadieron 50 g de dolomita para peletizar y proteger las semillas inoculadas.

La siembra se realizó el día 27 de noviembre de 2023, mediante chorro continuo en horas de la tarde, cubriendo las semillas con restos vegetales. Las labores culturales incluyeron riegos por gravedad a partir del día 2, con frecuencia de dos veces por semana. En 15 DDS se aplicó un control fitosanitario preventivo con fungicida, insecticida y abono foliar. El primer deshierbo se efectuó a los 22 DDS, y el segundo a los 43 DDS, debido a la alta presencia de malezas. El raleo se realizó entre los 49 y 51 DDS, dejando entre 15 y 20 plantas por metro lineal, mientras que el aporque se llevó a cabo a los 58 DDS para mejorar la estabilidad de las

plantas.

La aplicación de *Glomus iranicum* se realizó a los 67 días después de la siembra (02 de febrero de 2024) en horas de la mañana, bajo cielo nublado. Se utilizaron 384 g del producto comercial MYCOUP, diluidos en 192 litros de agua. La solución fue preparada en baldes de 20 litros, transferida a botellas adaptadas artesanalmente para su aplicación, y rociada al cuello de las plantas conforme al diseño experimental.

La cosecha fue escalonada debido a la maduración desigual de las variedades de quinua, iniciando con INIA 415 Pasankalla a los 157 días después de la siembra, seguida por INIA 420 Negra Collana (161 DDS) y finalizando con las demás variedades a los 169 DDS. El proceso incluyó la ciega con segadera y la trilla manual, frotando las panojas sobre rocas.

2.5. Parámetros de evaluación

a. Crecimiento

- *Altura de planta (cm)*. Se midió en la madurez fisiológica desde el cuello de la planta hasta el último nudo del tallo en 10 plantas al azar por unidad experimental.

b Rendimiento

- *Rendimiento de grano (t/ha)*. Se obtuvo mediante cálculos de peso de grano por panoja y el tamaño de la parcela, interpretado en hectáreas kg/ha

b. Desarrollo de la raíz

- *Peso seco de raíz (g/planta)*. Las 10 raíces se colocaron en una bolsa de papel y se colocó al horno a 60 °C durante 24 horas

2.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en base a análisis de variancia, pruebas de contraste de Tukey al nivel de significación 0.05, considerando la metodología del diseño parcelas divididas y la forma usual del Diseño Bloques Completos al Azar.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Crecimiento

3.1.1. Altura de planta

Tabla 3.37

Análisis de variancia para la altura de planta con A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	554.27	277.13	3.53	0.0795
Variedad	3	17479.55	5826.52	74.28	<0.0001**
Error (a)	8	627.50	78.44		
<i>Glomus</i>	1	463.80	463.80	6.00	0.0220*
<i>Azospirillum</i>	1	619.83	619.83	8.02	0.0092**
Variedad x <i>Glomus</i>	3	768.50	256.17	3.31	0.0370*
Variedad x <i>Azospirillum</i>	3	625.84	208.61	2.70	0.0683
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	1	566.83	566.83	7.33	0.0123*
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	3	984.89	328.30	4.25	0.0153*
Error (b)	24	1855.32	77.30		
Total	47	22358.68			

CV (%) = 10.22 Promedio = 86.07

El análisis de variancia para la altura de planta (Tabla 3.1); indica que existen diferencias altamente significativas en el efecto principal de la Variedad y *Azospirillum brasilense* (p-valor <0.01); además, se determinó diferencias significativas en el efecto principal del *Glomus iranicum* (p-valor<0.05), en la interacción de *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor<0.05) y en la de interacción triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p-valor= 0.05). Por otra parte no se encontró diferencia significativa entre bloques y en el efecto de interacción Variedad x *Azospirillum* (p-valor > 0.05). El coeficiente de variación fue de 10.22 %, que es considerado un valor medio con una confiabilidad aceptable en trabajos en campo además de indicar un adecuado control de factores no considerados en el estudio (Gordón-Mendoza & Camargo- Buitrago, 2015).El promedio general de la altura de planta fue de 86.07 cm.

Tabla 3.38

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en la altura de planta de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (cm)	%	Tukey 0.05	DMS	
Señor del Huerto			106.31		a	5.24	
Blanca de Junín			103.33		a		
Roja Pasankalla			72.10		b		
Negra Collana			62.53		b		
		0	84.75	100	a	5.24	
		1	87.39	103	a		
	0		83.83	100	a	5.24	
	1		88.30	105	a		
Señor del Huerto		0	104.08	100	a	16.81	
		1	108.54	104	a		
Blanca de Junín		0	101.07	100	a		
		1	105.58	104	a		
Roja Pasankalla		0	75.51	100	b		
		1	68.69	91	b c		
Negra Collana		0	58.33	100	c		
		1	66.73	114	b c		
Señor del Huerto	0		101.25	100	a	16.81	
	1		111.38	110	a		
Blanca de Junín	0		99.58	100	a		
	1		107.07	108	a		
Roja Pasankalla	0		71.40	100	b		
	1		72.80	102	b		
Negra Collana	0		63.10	100	b		
	1		61.97	98	b		
	0	0	80.54	100	a	9.90	
	1	0	88.95	110	a		
	0	1	87.13	108	a		
	1	1	87.65	109	a		
Señor del Huerto	0	0	97.83	100	a	b c	27.32
	1	0	110.33	113	a		
	0	1	104.67	107	a	b	
	1	1	112.42	115	a		
Blanca de Junín	0	0	91.17	100	a	b c d	
	1	0	110.97	122	a		
	0	1	108.00	118	a		
	1	1	103.17	113	a	b	
Roja Pasankalla	0	0	70.90	100		c d e	
	1	0	80.12	113		b c d e	
	0	1	71.90	101		c d e	
	1	1	71.95	101		d e	
Negra Collana	0	0	62.27	100			e
	1	0	54.40	87			e
	0	1	63.93	103		d	e
	1	1	69.53	112		d	e

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100% representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La altura de planta en quinua varía según el genotipo, la densidad de siembra, la fertilización y las condiciones del cultivo (Mujica, 1993, como se citó en Bolo, 2019), con rangos de 110 a 200 cm (Apaza et al., 2013). En este estudio, los promedios oscilaron entre 62.53 cm (INIA 420 Negra Collana) y 106.31 cm (INIA 441 Señor del Huerto), observándose diferencias significativas entre variedades. La Negra Collana, que normalmente alcanza entre 120 y 130 cm en zonas de 3800–3900 msnm con clima frío, no se adaptó bien a las condiciones de Canaán, mientras que la INIA 441, propia de Huamanga, mostró un buen desempeño.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento de la altura de planta en la variedad Señor del Huerto, de 13 % con *A. brasilense*, 7 % con *G. iranicum* y 15 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, sin embargo, las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó la altura de planta en 22 % con *A. brasilense*, 18 % con *G. iranicum* y 13 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó la altura de planta en 13 % con *A. brasilense*, 1 % con *G. iranicum* y en 1 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana redujo la altura de planta en 13 % con *A. brasilense*, se incrementó en 3 % con *G. iranicum* y 12 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, las alturas de planta con inoculaciones simples y doble no se diferenciaron con el testigo.

El incremento en la altura de las plantas se debe a la acción de *A. brasilense*, que estimula la división y el alargamiento celular mediante la producción de AIA (Paredes, 2013), y a *G. iranicum*, que mejora la disponibilidad de nutrientes como zinc y fósforo (Restrepo et al., 2019). Luna (2021) reportó 154 cm de altura en la variedad Pasankalla con aplicación de *Glomus* en Puno, mientras que Bolo (2019) obtuvo 114.9 cm con microorganismos rizosféricos, valor similar al de este estudio.

3.2. Rendimiento

3.2.1. Rendimiento de grano

Tabla 3.3

Análisis de variancia para el rendimiento de grano con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	30.9	2	15.45	6.47	0.0318
Variedad	9.81	3	3.27	1.37	0.3393
Error (a)	14.34	6	2.39		
<i>Glomus</i>	36.98	1	36.98	46.72	<0.0001**
<i>Azospirillum</i>	26.03	1	26.03	32.89	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	3.71	3	1.24	1.56	0.2245
Variedad x <i>Azospirillum</i>	4.18	3	1.39	1.76	0.1812
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	0.45	1	0.45	0.57	0.456
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	0.95	3	0.32	0.4	0.7544
Error (b)	19	24	0.79		
Total	146.35	47			

CV (%) =27.56, Promedio= 3.23

El análisis de variancia (Tabla 3.3) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de Bloque, *Glomus* y *Azospirillum* (p valor <0.01), sin embargo, no existe diferencia significativa en el efecto principal de Variedad, en la interacción de Variedad x *Glomus*, Variedad x *Azospirillum*, *Glomus* x *Azospirillum* y en la interacción triple Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 27.56 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del rendimiento de grano es de 3.23 TM.

Tabla 3.4

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el rendimiento de grano de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Azospirillum	Glomus	Promedio (t/ha)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del huerto			3.09		a	2.18
Blanca de Junín			3.99		a	
Roja Pasankalla			3.02		a	
Negra Collana			2.81		a	
		0	2.35	100	b	0.53
		1	4.11	175	a	
	0		2.49	100	b	0.53
	1		3.97	159	a	
Señor del huerto		0	2.37	100	b c	1.70
		1	3.80	160	a b	
Blanca de Junín		0	2.74	100	b c	
		1	5.25	192	a	
Roja Pasankalla		0	2.49	100	b c	
		1	3.55	143	a b	
Negra Collana		0	1.80	100	c	
		1	3.83	213	a b	
Señor del huerto	0		1.94	100	c	1.70
	1		4.24	219	a b	
Blanca de Junín	0		3.12	100	b c	
	1		4.87	156	a	
Roja Pasankalla	0		2.57	100	b c	
	1		3.47	135	a b c	
Negra Collana	0		2.35	100	c	
	1		3.28	140	a b c	
	0	0	2.99	100	b	1.00
	1	0	1.71	57	c	
	0	1	4.94	165	a	
	1	1	3.27	109	b	
Señor del huerto	0	0	1.35	100	d e	2.76
	1	0	3.40	252	b c d e	
	0	1	2.52	187	b c d e	
	1	1	4.40	326	a b	
Blanca de Junín	0	0	2.16	100	c d e	
	1	0	3.32	154	b c d e	
	0	1	4.07	188	a b c d	
	1	1	4.92	228	a	
Roja Pasankalla	0	0	2.10	100	c d e	
	1	0	2.88	137	b c d e	
	0	1	3.04	145	b c d e	
	1	1	4.06	193	a b c d	
Negra Collana	0	0	1.24	100	e	
	1	0	2.36	190	b c d e	
	0	1	3.46	279	b c d e	
	1	1	4.20	339	a b c	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos

La comparación de Tukey se observa en la Tabla 3.4, la inoculación con microorganismos produjo un incremento en el rendimiento de grano en la variedad Señor del Huerto, de 152 % con *A. brasilense*, 87 % con *G. iranicum* y 226 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, también, el rendimiento de grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el rendimiento de grano en 54 % con *A. brasilense*, 88 % con *G. iranicum* y 128 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, también, el rendimiento de grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el rendimiento de grano en 37% con *A. brasilense*, 45% con *G. iranicum* y en 93 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, también, el rendimiento de grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el rendimiento de grano en 90 % con *A. brasilense*, se incrementó en 179 % con *G. iranicum* y 239 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum* con respecto al testigo, el rendimiento de grano con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo.

Según Apaza et al. (2023) y AgroPerú (2020), los rendimientos promedio de grano son: 2.50 t/ha para Blanca de Junín, 3.54 t/ha para INIA 415 Pasankalla, 3.01 t/ha para INIA 420 Negra Collana y entre 2.95 a 3.2 t/ha para INIA 441 Señor del Huerto.

Los resultados superaron los valores previamente reportados, que podría ser al efecto positivo de la coinoculación con *A. brasilense* y *G. iranicum*. Estos microorganismos actuaron como promotores del crecimiento vegetal, mejorando el desarrollo y el rendimiento de la quinua. *A. brasilense* estimula la producción de giberelinas, favoreciendo la floración y fructificación (Domingues et al. 2020), mientras que *G. iranicum* mejora la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, lo que puede aumentar el rendimiento hasta en un 25 % (Restrepo et al. 2019).

En este estudio, la variedad Blanca de Junín alcanzó un rendimiento de 4.92 t/ha, superando los 4.67 t/ha reportados por Quispe et al. (2021) con *A. brasilense* en Canaán. Este incremento podría ser por la interacción sinérgica de los microorganismos utilizados. En contraste, Luna (2021) reportó rendimientos mucho menores con *Glomus* en el Altiplano (1.67 t/ha para Blanca de Junín y 1.55 t/ha para Pasankalla), lo que resalta la importancia del contexto agroecológico y del manejo agronómico, así como el beneficio de la coinoculación microbiana.

Quispe (2023) reportó un rendimiento de 3.41 t/ha en la variedad INIA 441 Señor del Huerto con inoculación en Canaán, valor inferior al obtenido en este estudio (4.40 t/ha), posiblemente por la acción del *A. brasilense* y *G. iranicum*. En contraste, Bolo (2019) registró 1.4 t/ha para

la variedad Negra Collana sin inoculación, resultado similar al de este ensayo bajo condiciones sin microorganismos, lo que confirma su bajo rendimiento en ausencia de biofertilización.

3.3.2. *Peso seco de raíz*

Tabla 3.5

Análisis de variancia para el peso seco de la raíz con aplicación de A. brasilense y G. iranicum en cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	2.22	2	1.11	2.94	0.1101
Variedad	37.87	3	12.62	33.45	0.0001**
Error (a)	3.02	8	0.38		
<i>Glomus</i>	13.96	1	13.96	19.59	0.0002**
<i>Azospirillum</i>	24.95	1	24.95	35.01	<0.0001**
Variedad x <i>Glomus</i>	3.78	3	1.26	1.77	0.1798
Variedad x <i>Azospirillum</i>	6.78	3	2.26	3.17	0.0425*
<i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	1.2	1	1.2	1.69	0.2065
Variedad x <i>Glomus</i> x <i>Azospirillum</i>	18.3	3	6.1	8.56	0.0005**
Error (b)	17.1	24	0.71		
Total	122.13	47			

CV (%) = 27.95, Promedio = 3.02 g

El análisis de variancia (Tabla 3.5) indica que existe diferencia altamente significativa en los efectos principales de Variedad, *Glomus*, *Azospirillum* y en la interacción triple de Variedad x *Glomus* x *Azospirillum* (p valor < 0.01); además se observa diferencia significativa en la interacción de Variedad x *Azospirillum* (p valor < 0.05); sin embargo, no existe diferencia significativa en el efecto principal de Bloque, interacción Variedad x *Glomus* y *Glomus* x *Azospirillum* (p valor > 0.05). El coeficiente de variación es de 25.95 % que es un valor alto, que se encuentra dentro del rango permitido e indica una confiabilidad aceptable en experimentos agrícolas (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015), además el promedio del peso seco de raíz es de 3.02 g.

Tabla 3.6

Prueba de Tukey para el efecto de A. brasilense y G. iranicum en el peso seco de la raíz de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	<i>Azospirillum</i>	<i>Glomus</i>	Promedio (g/planta)	%	Tukey 0.05	DMS
Señor del Huerto			3.27		a b	0.8
Blanca de Junín			4.04		a	
Roja Pasankalla			3.17		b	
Negra Collana			1.60		c	
		0	2.50	100	b	0.5
		1	3.54	142	a	
	0		2.32	100	b	0.5
	1		3.72	160	a	
Señor del Huerto		0	2.47	100	b c d	1.61
		1	4.07	165	a b	
Blanca de Junín		0	3.36	100	a b c	
		1	4.73	141	a	
Roja Pasankalla		0	2.88	100	b c d	
		1	3.46	120	a b c	
Negra Collana		0	1.31	100	d	
		1	1.88	144	c d	
Señor del Huerto	0		2.20	100	c d e	1.61
	1		4.33	197	a b	
Blanca de Junín	0		3.09	100	b c d	
	1		5.00	162	a	
Roja Pasankalla	0		2.57	100	c d e	
	1		3.77	147	a b c	
Negra Collana	0		1.40	100	e	
	1		1.79	128	d e	
	0	0	1.80	100	c	0.95
	0	1	2.83	157	b	
	1	0	3.21	178	b	
	1	1	4.24	236	a	
Señor del Huerto	0	0	1.54	100	d e	2.62
	1	0	3.39	220	b c d e	
	0	1	2.86	186	b c d e	
	1	1	5.28	343	a b	
Blanca de Junín	0	0	3.18	100	b c d e	
	1	0	3.53	111	b c d e	
	0	1	3.00	94	b c d e	
	1	1	6.46	203	a	
Roja Pasankalla	0	0	1.38	100	d e	
	1	1	3.16	229	b c d e	
	0	1	3.75	272	b c d	
	1	0	4.38	317	a b c	
Negra Collana	0	0	1.10	100	e	
	1	0	1.52	138	d e	
	0	1	1.71	155	d e	
	1	1	2.06	187	c d e	

0: sin *A. brasilense* o *G. iranicum*, 1: con *A. brasilense* o *G. Iranicum*, El 100 % representa el valor del control, referencia para calcular incrementos o reducciones proporcionales en los demás tratamientos.

La inoculación con microorganismos produjo un incremento del peso seco de la raíz en la variedad Señor del Huerto, de 44 % con *A. brasilense*, 61 % con *G. iranicum* y 27 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, también, el peso seco de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Blanca de Junín incrementó el peso seco de la raíz en 11 % con *A. brasilense*, redujo en 6 % con *G. iranicum* e incrementó en 103 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso seco de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Roja Pasankalla incrementó el peso seco de la raíz en 217 % con *A. brasilense*, 172 % con *G. iranicum* y en 129 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso seco de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo. La variedad Negra Collana incrementó el peso seco de la raíz en 38 % con *A. brasilense*, se incrementó en 55 % con *G. iranicum* y 87 % con la coinoculación *A. brasilense* + *G. iranicum*, el peso seco de la raíz con inoculaciones simples y doble se diferenciaron con el testigo

La aplicación combinada de *A. brasilense* y *G. iranicum* mostró el mejor desarrollo radicular. *A. brasilense* estimula el crecimiento de raíces a través de la producción de auxinas como el AIA, promoviendo la elongación celular (Paredes, 2013), mientras que *G. iranicum* favorece la formación de pelos absorbentes, mejorando la absorción de nutrientes y agua, lo que se refleja en un mayor peso seco de raíces (Pravia, 2023).

En condiciones de Canaán, Quispe (2023) reportó un peso seco de raíz de 7.87 g con *A. brasilense* y de 8.22 g con la coinoculación de *A. brasilense* y *G. iranicum*, ambos superiores a los resultados del presente estudio. De manera similar, Pinargote (2018) obtuvo 7.56 g en genotipos de quinua en Ecuador. Estos datos confirman la eficacia de los microorganismos benéficos en la mejora del desarrollo radicular en distintos entornos agroecológicos.

4. CONCLUSIONES

1. La coinoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* promovió significativamente el crecimiento de las plantas de quinua. La variedad INIA 441 Señor del Huerto presentó un aumento destacado en la altura de planta incrementando en 15 % con respecto al testigo.
2. En términos de rendimiento, la coinoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* resultó ser el tratamiento más efectivo. La variedad INIA 441 Señor del Huerto se consolidó como una de las más productivas, al presentar un aumento significativo (226 %) en el rendimiento de grano.

3. En cuanto al desarrollo del sistema radicular, la coinoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum var. tenuihypharum* promovió mejoras importantes en las características de la raíz. La variedad Blanca de Junín incrementó (113 %) en el peso seco de raíz.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AgroPerú. (2020, noviembre 11). “INIA 441-Señor del Huerto”, la nueva variedad de quinua que rinde hasta 3.2 t/ha. *AGROPERÚ Informa*. <https://www.agroperu.pe/inia-441-senor-del-huerto-la-nueva-variedad-de-quinua-que-rinde-hasta-3-2-t-ha/>
- Asociación de Exportadores. (2024). *Envíos de granos andinos al mundo superaron los US\$ 43 millones*. ADEX. <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/envios-de-granos-andinos-al-mundo-superaron-los-us-43-millones/>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú* (p. 82). Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/566>
- Bolo, J. D. (2019). *Fauna edáfica, microorganismos rizosféricos y propiedades físicas del suelo en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en Huando, Huancavelica* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4136>
- Domínguez, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., Galbeiro, S., Domingues Duarte, C. F., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., & Galbeiro, S. (2020). *Azospirillum spp. En gramíneas y forrajeras. Revisión. Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- FAO. (2011). *La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. 66.
- Gordón-Mendoza, R., & Camargo-Buitrago, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 163–176. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16920>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (s. f.). *Instalan parcela demostrativa de avena INIA 901 Mantaro 15 en localidad de Chuquitambo, Huancavelica*. Recuperado el 30 de septiembre de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/inia/noticias/673121-instalan-parcela-demostrativa-de-avena-inia-901-mantaro-15-en-localidad-de-chuquitambo-huancavelica>
- Licea-Herrera, J. I., Quiroz-Velásquez, J. D. C., & Hernández-Mendoza, J. L. (2020a).

- Impacto de *Azospirillum brasilense*, una rizobacteria que estimula la producción del ácido indol-3-acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 34–39.
- Luna Quecaño, J. C. (2021). *Efectos de la aplicación del hongo micorrízico vesículo-arbuscular (Glomus intraradices) en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Puno* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17150>
- Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., & Marathe, J. P. (2001). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro* (FAO, UNA-Puno, CIP, Eds.). FAO Oficina Regional para América Latina y el Caribe y Universidad Nacional del Altiplano https://www.researchgate.net/publication/350358426_Quinoa_Chenopodium_quinoa_Will_ancestral_cultivo_andino_alimento_del_presente_y_futuro
- Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Argentina]. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Pérez, A. (2005). *Manejo del cultivo de quinua en la sierra central* [Manual técnico]. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/744/2/P%C3%A9rez-Manejo_cultivo_de_quinoa.pdf
- Quispe, J. (2023). *Microorganismos eficientes en el rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow) Ayacucho, 2023*.
- Quispe, J., Camasca, A., Esquivel, R., García-Blasquez, C., & Alarcón, S. (2021). *Densidades de planta, Trichoderma y Azospirillum en el rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow) Canaán 2735 msnm, Ayacucho*.
- Restrepo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., Molina Guzmán, L. P., Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., & Molina Guzmán, L. P. (2019). *Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia*. *Idesia (Arica)*, 37(1), 35-44. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000301>