

MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL RENDIMIENTO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willdenow). AYACUCHO, 2023

José Antonio Quispe Tenorio

Área: Medio Ambiente

Línea de Investigación: Sistemas de Producción Agrícola

jose.quispe@unsch.edu.pe

RESUMEN

Se estudiaron ocho tratamientos combinados de *Glomus* (sin, con), *Rhizobium* (sin, con) y *Azospirillum* (sin, con) y su efecto en el rendimiento y crecimiento de la raíz de quinua INIA 441 “Señor del Huerto” (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho. La inoculación con *Glomus* favoreció la longitud de tallo (69.57 cm) frente a no inoculación (60.17 cm), la inoculación con *Rhizobium* no favoreció la longitud de tallo (59.73 cm) frente a la inoculación (70.01 cm). La longitud de panoja fue mayor cuando no se inoculó con *Glomus* (95.67 cm) frente a inoculación (86.78 cm). El rendimiento de grano se incrementó cuando se inoculó con *Rhizobium* y *Azospirillum* (5.89 t/ha), disminuyó cuando a esta combinación no se inoculó con *Rhizobium* (3.44 t/ha). La longitud de raíz se incrementó cuando se inoculó con *Azospirillum* (21.47 cm) independientemente de *Glomus*, mayor al promedio cuando no se inoculó con *Glomus* y *Azospirillum* (16.85 cm). La inoculación con *Glomus* y *Rhizobium* resultó con el mayor número de raíces (7.07) independientemente de *Azospirillum*, las inoculaciones solamente con *Glomus* o *Rhizobium* o *Azospirillum* resultaron con los menores promedios (4.87, 2.77 y 3.20). El peso de raíz de quinua fue favorecido por la inoculación con *Rhizobium* (7.70 g) frente a la no inoculación (5.79 g), este fue mayor cuando se inoculó con *Azospirillum* (7.87 g) frente a la no inoculación (5.63 g).

Palabras clave. Quinoa, *Glomus*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, rendimiento.

ABSTRACT

Eight combined treatments of *Glomus* (without, with), *Rhizobium* (without, with) and *Azospirillum* (without, with) and their effect on the yield and growth of quinoa root INIA 441 “Lord of the Orchard” (*Chenopodium quinoa* Willd.), in Canaan at 2735 meters above sea level, Ayacucho, were studied. Inoculation with *Glomus* favored stem length (69.57 cm) versus no inoculation (60.17 cm), inoculation with *Rhizobium* did not favor stem length (59.73 cm) versus inoculation (70.01 cm). The length of the panicle was longer when it was not inoculated with *Glomus* (95.67 cm) compared to inoculation (86.78 cm). Grain yield increased when inoculated with *Rhizobium* and *Azospirillum* (5.89 t/ha), decreased when this combination was not inoculated with *Rhizobium* (3.44 t/ha). Root length increased when inoculated with *Azospirillum* (21.47 cm) independently of *Glomus*, higher than average when not inoculated with *Glomus* and *Azospirillum* (16.85 cm). Inoculation with *Glomus* and *Rhizobium* resulted in the highest number of roots (7.07) regardless of *Azospirillum*, inoculations only with *Glomus* or *Rhizobium* or *Azospirillum* resulted in the lowest averages (4.87, 2.77 and 3.20). The weight of quinoa root was favored by inoculation with *Rhizobium* (7.70 g) versus no inoculation (5.79 g), this was higher when inoculated with *Azospirillum* (7.87 g) versus no inoculation (5.63 g).

Keywords. Quinoa, *Glomus*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, yield.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se cultiva desde Tacna en el sur hasta Piura en el norte y desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm, en la sierra su cultivo es predominantemente estacional. En el año 2021 la producción nacional de quinua llegó a 106718 toneladas, la región Ayacucho aportó con 22432 toneladas que representa el 21 %, en este mismo periodo se registró un rendimiento promedio nacional de 1566 kg/ha, las regiones de Arequipa y Cusco destacan con los rendimientos más altos con 3504 y 2917 kg/ha respectivamente, Ayacucho con 1734 kg/ha, está ubi-

cada en puesto 8 de las 16 regiones productoras de quinua (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023)

El conocimiento del efecto de la inoculación con *Glomus*, *Rhizobium* y *Azospirillum* en el rendimiento de grano y desarrollo de la raíz de la quinua en Ayacucho puede mejorar las cosechas, reducir el uso de insumos químicos y evitar el deterioro del medio ambiente, especialmente el suelo. Es conocido que el incremento de los rendimientos de las variedades mejoradas es posible con el uso de insumos de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Dazzo

& Yanni, 2006). Sin embargo, esta práctica ocasiona problemas ambientales, económicos y de riesgo para la salud que deben minimizarse. El uso de microorganismos que interactúen con las plantas es considerado una opción viable en la agricultura actual (Hernández et al., 2015)

Los microorganismos incluidos en el presente estudio actúan de diferente forma. Se conoce que *Glomus* promueven el crecimiento vegetal, además de tener un efecto de protección contra enfermedades, el hongo ante la incapacidad de sintetizar productos orgánicos los obtiene a través de la planta. La planta a su vez se beneficia mejorando la captación de agua y minerales del suelo, optimizando el metabolismo del fósforo y de nitrógeno (Rausch et al., 2001) fungal hyphae often extend between the root cells and tuft-like branched structures (arbuscules. *Rhizobium*, además se la simbiosis con leguminosas actúa también como promotor de crecimiento (Loredo-Osti et al., 2004). *Azospirillum* actúa como fijadora de nitrógeno atmosférico en forma libre o asociativa, algunas se destacan por su potencial como biofertilizantes y promotoras del crecimiento (Romero et al., 2003)

Riera y Medina (2005) evaluaron la influencia de la frecuencia de inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre las poblaciones de rizobacterias en los rendimientos en diferentes secuencias de cultivos. Los resultados mostraron que las poblaciones de rizobacterias aumentaron con el incremento de la frecuencia de aplicación de micorrizas y disminuyeron con el declive de los diferentes cultivos incluidos. La mayor eficiencia en las combinaciones de los microorganismos inoculados se logró cuando se inoculan, al menos, los dos primeros cultivos dentro de las secuencias, incrementando su rendimiento.

Müller et al. (2016) the goal of the paper was to evaluate inoculation methods of *Azospirillum brasilense* in order to partially supply N required by the crop. The experiment was carried out in Guapava, PR, Brasil, in 2011/2012 growing season. Randomized blocks with factorial 3 inoculation methods (seed treatment, planting furrow and non-inoculated control) evaluaron métodos de inoculación de *Azospirillum brasilense* para suplir parcialmente el N requerido por el cultivo de maíz. Se utilizó el diseño bloques al azar con métodos de inoculación factorial 3 (tratamiento semilla, siembra en surco y testigo no inoculado) x 5 dosis de nitrógeno (0, 75, 150, 225 y 300 kg ha⁻¹) x 8 repeticiones. Hubo una interacción significativa entre los métodos de inoculación y la fertilización nitrogenada con el índice

de área foliar, pero no con el rendimiento. La inoculación con la bacteria diazotrófica proporcionó un incremento en el rendimiento de 702 kg ha⁻¹ para la inoculación en surco de siembra y de 432 kg ha⁻¹ para la inoculación en el tratamiento de semillas en comparación con el control, pero ambos tratamientos no difirieron entre sí.

Córdova (2015) evaluó el efecto de diez cultivos de *Azospirillum* spp. nativas en la altura, biomasa aérea y radicular del maíz en condiciones de invernadero. El estudio fue conducido en un diseño completamente aleatorio, con doce tratamientos, diez correspondientes a los cultivos de *Azospirillum*, un testigo químico (240N:80P:80K) y un testigo absoluto (agua destilada). Los diez cultivos de *Azospirillum* spp. fijaron nitrógeno como amonio (3,2-32,1 ppm), produjeron ácido indolacético (2,8-35,3 ppm) y solubilizaron fósforo (0,05-3,41 ppm), destacando *Azospirillum* sp. 77 en la fijación de nitrógeno (32,10 ppm) y producción de ácido indolacético (35,3 ppm) y *Azospirillum* sp. 65 en la solubilización de fósforo (3,41 ppm). Los diez cultivos de *Azospirillum* incrementaron la altura (IE=0,73-13,75 %) y biomasa aérea (IE=18,86-23,34 %). Asimismo, ocho cultivos de *Azospirillum* spp. incrementaron la biomasa radicular (IE= 10,79-63,31 %). *Azospirillum* sp. 65 superó al testigo químico en los IE en la altura a los 25 y 50 días, biomasa aérea y radicular a los 75 días. Se demostró el potencial de *Azospirillum* spp. para incrementar el desarrollo vegetativo en el cultivo de maíz.

Choquechua (2011) en Canaán a 2735 encontró valores de rendimiento de grano entre 8.171 y 2.375 t/ha para los cultivares CQA025 y CQA051 respectivamente, estos mismos cultivares fueron estudiados por Amiquero (2014) con un rendimiento de grano de 6.719 y 5.846 tn/ha. Núñez (2018) estudió el rendimiento de grano en dos épocas de siembra en Canaán a 2735 msnm (25-11-2010 y 25-12-2010) y cuatro variedades de quinua (Blanca de Junín, Killahuamán, Salcedo INIA y Pasankalla), encontró diferencia significativa para el efecto principal épocas, siendo los promedios de 1.587 y 1.847 tn/ha para la primera y segunda época respectivamente, también encontró diferencia significativa para el efecto principal variedad, siendo los promedios 2.485, 1.818, 1.355 y 1.191 tn/ha respectivamente en orden de las variedades señaladas; también obtuvo efectos de interacción de épocas x variedades, siendo el mejor resultado de un rendimiento de 2.679 tn/ha con la variedad Blanca de Junín en la siembra del 25-12-10 y el rendimiento más bajo de 0.963 tn/ha con la variedad Pasankalla en la siembra del 25-11-10.

Glomus

Thangavel et al. (2022) refieren que los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) constituyen un grupo único de simbioses obligados a la raíz que intercambian beneficios mutuos con aproximadamente el 90% de las plantas terrestres y representan un vínculo clave entre las plantas y los nutrientes minerales del suelo. Entre las muchas especies de estos hongos destaca *Glomus iranicum*.

Esquivel-Quispe (2020a) estudio la propagación de seis consorcios de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) al ser inoculados en los cultivos asociados de *Lolium multiflorum* y *Pisum sativum*, en condiciones de invernadero ubicado en Pampa del Arco de la ciudad universitaria, a 2750 msnm Ayacucho-Perú. La propagación de estos HMA es favorable en cultivo asociado *L. multiflorum* y *P. sativum*. El experimento de campo (Esquivel-Quispe, 2020b) demostró que se puede micorrizar cultivos de maíz (*Zea mays* L.) con el consorcio de HMA *C. etunicatum*, *Gigaspora* sp y *Sclerocystis* sp., como también con el consorcio de *F. gesosporum* y *C. luteum*, porque incrementan el rendimiento y desarrollo de *Zea mays* L.

Rhizobium

Dazzo y Yanni (2006) refieren que se han realizado numerosos ensayos de inoculación de campo para evaluar el potencial agronómico de estas asociaciones de *Rhizobium*-cereal en condiciones de campo, con el objetivo a largo plazo de identificar, desarrollar e implementar biofertilizantes superiores que pueden promover la productividad del arroz y el trigo en los sistemas de cultivo del mundo real simultáneamente reduciendo su dependencia de los insumos de fertilizantes nitrogenados.

Azospirillum

Pérez-Pérez et al. (2019) the colonization and promotion of growth in non-leguminous plants has also been demonstrated. The aim of this work was the biochemical and molecular identification of rhizosphere rhizobia present in the rhizosphere of two commercial maize cultivars. Cultivable isolates were obtained in yeast-mannitol-agar (YMA) señalan que en la actualidad se conoce un gran número de bacterias que fijan nitrógeno atmosférico en forma libre o asociativa, algunas se destacan por su potencial como biofertilizantes y promotoras del crecimiento; uno de los géneros más conocidos es la bacteria del género *Azospirillum* (proviene del francés, Azote, significa nitrógeno y Spirillum que significa pequeña espiral.

Hernández et al. (2015) refieren que *Azospirillum* son bacterias muy versátiles, capaces de establecer relaciones de simbiosis y mutualismo con las plantas y otros microorganismos. Son nutricionalmente variables, con efectos sobre la fijación de nitrógeno atmosférico, producción de fitohormonas, solubilización de minerales y nutrientes para las plantas. Influyen además, en el incremento del volumen de la raíz e inducen la resistencia a patógenos. Pueden servir como alimento a la micro y macro fauna siempre deficiente de nutrientes, son capaces de incrementar el rendimiento de cultivos agrícolas y pueden ser utilizadas como control biológico, lo que demuestra las potencialidades para su uso en la agricultura.

Fernandes et al. (2020) en un artículo de revisión refieren que *Azospirillum* es un género de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, encontrado en suelos de diferentes regiones del globo terrestre. Estas bacterias cuando se asocian a raíces de plantas ayudan en la producción y productividad del cultivo, actuando en el aumento de parte aérea y sistema radicular. Estos beneficios se derivan de la excreción de los fitonutrientes de crecimiento, especialmente las auxinas. En las gramíneas forrajeras, la inoculación de estas cepas puede proporcionar mayores ganancias de masa de forraje con menores dosis de N-fertilizante, garantizando la sostenibilidad del sistema de producción del pasto.

Steenhoudt y Vanderleyden (2000) destacan cuatro aspectos de la interacción entre el *Azospirillum* y la raíz de la planta: hábitat natural, interacción entre las raíces de las plantas, la fijación de nitrógeno y la biosíntesis de las hormonas de crecimiento de las plantas.

Objetivo general

Evaluar el efecto de tres microorganismos eficientes (*Glomus*, *Rhizobium* y *Azospirillum*) en el rendimiento y desarrollo de la raíz de la variedad de quinua INIA 441, en condiciones de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho, 2023.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de tres microorganismos eficientes (*Glomus*, *Rhizobium* y *Azospirillum*) en el rendimiento de la variedad de quinua INIA 441, en condiciones de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho, 2023.
2. Evaluar el efecto de tres microorganismos eficientes (*Glomus*, *Rhizobium* y *Azospirillum*) en el desarrollo de la raíz de la variedad de quinua INIA 441, en condiciones de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho, 2023.

II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Ubicación del experimento

El experimento se condujo en el Centro Experimental Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicado en el distrito Andrés Avelino Cáceres a 4 km de la ciudad universitaria y a 2735 msnm.

Material genético

La variedad de quinua de grano blanco INIA 441 Señor del Huerto, desarrollado por selección recurrente por el INIA y la UNSCH.

Variables

Tabla 1
Variables e indicadores

Variables	Indicadores	Estado / Unidad	Medida
V. Independiente:			
Microorganismos	<i>Azospirillum</i>	Con / Sin <i>Azospirillum</i>	Ordinal
	<i>Rhizobium</i>	Con / Sin <i>Rhizobium</i>	Ordinal
	<i>Glomus</i>	Con / Sin <i>Glomus</i>	Ordinal
V. Dependiente:			
Rendimiento	Longitud de tallo	cm	Numérica
	Longitud de panoja	cm	Numérica
	Peso seco aéreo	g	Numérica
	Rendimiento	t/ha	Numérica
Desarrollo de raíz	Longitud de raíz	cm	Numérica
	Número de ramificaciones	u	Numérica
	Peso seco de raíz	g	Numérica

Parcela experimental

La unidad experimental fue una parcela de cultivo de quinua, esta consistió de 4 surcos de 4 m de largo y 0.80 m entre surcos, haciendo un área de parcela de 12.8 m²

Tratamientos

Los 8 tratamientos de acuerdo con el diseño bloques completos al azar (Montgomery, 2002), se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2
Tratamientos Según los factores (variables independientes)

Tratamiento	<i>Glomus</i> Factor A	<i>Rhizobium</i> Factor B	<i>Azospirillum</i> Factor C
t01	(1) Con <i>Glomus</i>	(1) Con <i>Rhizobium</i>	(1) Con <i>Azospirillum</i>
t02	(0) Sin <i>Glomus</i>	(1) Con <i>Rhizobium</i>	(1) Con <i>Azospirillum</i>
t03	(1) Con <i>Glomus</i>	(0) Sin <i>Rhizobium</i>	(1) Con <i>Azospirillum</i>
t04	(0) Sin <i>Glomus</i>	(0) Sin <i>Rhizobium</i>	(1) Con <i>Azospirillum</i>
t05	(1) Con <i>Glomus</i>	(1) Con <i>Rhizobium</i>	(0) Sin <i>Azospirillum</i>
t06	(0) Sin <i>Glomus</i>	(1) Con <i>Rhizobium</i>	(0) Sin <i>Azospirillum</i>
t07	(1) Con <i>Glomus</i>	(0) Sin <i>Rhizobium</i>	(0) Sin <i>Azospirillum</i>
t08	(0) Sin <i>Glomus</i>	(0) Sin <i>Rhizobium</i>	(0) Sin <i>Azospirillum</i>

Diseño experimental

El experimento se condujo en el diseño bloques completos al azar con 8 tratamientos y 3 bloques (repeticiones).

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó en base a análisis de variancia, pruebas de contraste de Tukey al nivel de significación de 0.05, con la metodología del diseño bloques completos al azar. Para el análisis de los datos se utilizó el software Infostat versión 2008 (Di Rienzo et al., 2008)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de rendimiento

La longitud de tallo de quinua se diferenció significativamente ($p < 0.05$) en las fuentes de variación tratamiento y los efectos principales de *Glomus* y *Rhizobium* ($p < 0.05$). Se encontró diferencia significativa de la longitud de panoja entre bloques, tratamientos y los efectos principales de *Glomus*, *Rhizobium* y *Azospirillum* ($p < 0.05$). El peso seco aéreo se diferenció significativamente en las fuentes de variación bloque, tratamiento, efectos prin-

cipales de *Rhizobium* y *Azospirillum* y los efectos de interacción *Rhizobium* x *Azospirillum* ($p < 0.05$). El rendimiento de grano se diferenció significativamente en las fuentes de variación tratamiento, efectos principales de *Rhizobium* y *Azospirillum* y los efectos de interacción *Rhizobium* x *Azospirillum* ($p < 0.05$). El coeficiente de variación varió de 7.09 a 28.58.

Longitud de tallo

La longitud de tallo fue favorecida por la incorporación de *Glomus* (69.57 cm) frente a la no incorporación (60.17 cm), en promedio de *Rhizobium* y *Azospirillum*. (Tabla 5.2). La longitud de tallo disminuyó cuando se incorporó *Rhizobium* de 70.01 cm (sin *Rhizobium*) a 59.73 cm (con *Rhizobium*) en promedio de *Glomus* y *Azospirillum*. El efecto favorable de *Glomus* en la longitud de tallo se puede apreciar cuando se incorporó solo (1, 0, 0) o se incorpora con *Rhizobium* (1, 1, 0) o con *Azospirillum* (1, 0, 1), notándose también que su efecto disminuye si se usan los tres microorganismos (1, 1, 1). La incorporación de *Rhizobium* o *Azospirillum* tiende a disminuir la longitud de tallo si no se usa *Glomus* (Tabla 3)

Tabla 3

Prueba de Tukey del efecto de *Glomus*, *Rhizobium* y *Azospirillum* en las variables de rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad INIA 441 "Señor del Huerto. Canadá 2735 msnm, Ayacucho

Factores			Longitud de tallo	Longitud de panoja		Peso seco aéreo	Rendimiento de grano		
Gl	Rh	Az	cm	cm		g	t/ha		
<i>Glomus</i> (Gl)									
0			60.17	b	95.67	a	83.16	a	4.04
1			69.57	a	86.78	b	76.49	a	4.01
<i>Rhizobium</i> (Rh)									
	0		70.01	a	82.83	b	69.19	b	3.41
	1		59.73	b	99.62	a	90.46	a	4.64
<i>Azospirillum</i> (Az)									
		0	65.75	a	85.08	b	68.17	b	3.39
		1	63.98	a	97.36	a	91.47	a	4.67
Interacción Gl x Rh									
0	0		64.05	b	84.62	bc	67.89	a	3.43
1	0		75.97	a	81.03	c	70.49	a	3.43
0	1		56.28	b	106.72	a	98.43	a	4.69
1	1		63.17	b	92.52	b	82.48	a	4.60
Interacción Gl x Az									
0		0	60.08	b	91.07	a	70.12	a	3.40
1		0	71.42	a	79.10	b	66.23	a	3.37

0	1	60.25	b	100.27	a	96.20	a	4.68	a	
1	1	67.72	ab	94.45	a	86.74	a	4.65	a	
Interacción Rh x Az										
0	0	70.25	a	78.67	c	69.06	b	3.38	b	
1	0	61.25	ab	91.50	b	67.29	b	3.39	b	
0	1	69.77	a	86.98	bc	69.32	b	3.44	b	
1	1	58.20	b	107.73	a	113.62	a	5.89	a	
Interacción Gl x Rh x Az										
0	0	0	65.43	abc	80.07	d	70.46	ab	3.55	a
1	0	0	75.07	ab	77.27	d	67.65	b	3.22	a
0	1	0	54.73	c	102.07	abc	69.77	ab	3.26	a
1	1	0	67.77	abc	80.93	d	64.81	b	3.53	a
0	0	1	62.67	abc	89.17	bcd	65.32	b	3.26	a
1	0	1	76.87	a	84.80	cd	73.33	ab	3.63	a
0	1	1	57.83	c	111.37	a	127.08	a	6.11	a
1	1	1	58.57	bc	104.10	ab	100.15	ab	5.66	a

Longitud de panoja

La longitud de panoja fue mayor cuando no se incorporó *Glomus* (95.67 cm) frente a la incorporación (86.78 cm), en promedio de *Rhizobium* y *Azospirillum*. La longitud de panoja fue favorecida por la incorporación de *Rhizobium* (99.62 cm) frente a la no incorporación (82.83 cm), en promedio de *Glomus* y *Azospirillum*. La longitud de panoja fue mayor cuando se incorporó *Azospirillum* (97.36 cm) frente a la incorporación (85.08 cm), en promedio de *Glomus* y *Rhizobium*. Los tratamientos donde se incorporó *Rhizobium* y *Azospirillum* resultaron con los mejores promedios de longitud de panoja, independientemente de la incorporación o no de *Glomus*. Los menores promedios correspondieron a los tratamientos cuando se incorporó *Glomus* y *Rhizobium* y no *Azospirillum* (1, 1, 0), se incorporó *Glomus* solamente (1, 0, 0) o no se incorporó ninguno de los microorganismos (0, 0, 0). (Tabla 3)

Peso seco aéreo

El peso seco aéreo fue favorecido por la incorporación de *Rhizobium* (90.46 g) frente a la no incorporación (69.19 g), en promedio de *Glomus* y *Azospirillum*. El peso seco aéreo fue mayor cuando se incorporó *Azospirillum* (91.47 g) frente a la no incorporación (68.17 g), en promedio de *Glomus* y *Rhizobium*. El peso seco aéreo se incrementó cuando se incorporó *Rhizobium* y *Azospirillum* (113.62 g) en promedio de *Glomus*, se diferencia significativamente cuando a esta combinación no se incorporó

Rhizobium (69.32 g), las combinaciones donde no se incorporó *Rhizobium* y *Azospirillum* (69.06 g) o se incorporó solamente *Rhizobium* (67.29 g) no se diferenciaron significativamente. Los tratamientos donde se incorporó *Rhizobium* y *Azospirillum* resultaron con los mejores promedios de peso seco aéreo, independientemente de la incorporación o no de *Glomus*. Los menores promedios correspondieron a los tratamientos cuando se incorporó *Glomus* y *Rhizobium* y no *Azospirillum* (1, 1, 0), se incorporó *Glomus* solamente (1, 0, 0) o se incorporó *Azospirillum* solamente (0, 0, 1). (Tabla 3)

Córdova (2015) reportó que 10 de 10 cultivos nativos de *Azospirillum* spp fijaron nitrógeno como amonio, produjeron ácido indol acético y solubilizaron fósforo, incrementando la altura y biomasa aérea en maíz.

Rendimiento de grano

El rendimiento de grano de quinua fue favorecido por la incorporación de *Rhizobium* (4.64 t/ha) frente a la no incorporación (3.41 t/ha), en promedio de *Glomus* y *Azospirillum*. El rendimiento de grano fue mayor cuando se incorporó *Azospirillum* (4.67 t/ha) frente a la no incorporación (3.39 t/ha), en promedio de *Glomus* y *Rhizobium*. El rendimiento de grano de quinua se incrementó cuando se incorporó *Rhizobium* y *Azospirillum* (5.89 t/ha) en promedio de *Glomus*, se diferencia significativamente cuando a esta combinación no se incorporó *Rhizobium* (3.44 t/ha), las combinaciones donde no se incorporó

Rhizobium y *Azospirillum* (3.38 t/ha) o se incorporó solamente *Rhizobium* (3.39 t/ha) no se diferenciaron significativamente. Los tratamientos donde se incorporó *Rhizobium* y *Azospirillum* resultaron con los mejores promedios de rendimiento de grano, independientemente de la incorporación o no de *Glomus*, sin embargo, no se encontró diferencia significativa con el resto de tratamientos. (Tabla 3)

El rendimiento de grano es un carácter cuantitativo, afectado por el genotipo y el ambiente. Núñez (2018) cuando evaluó el rendimiento de grano de quinua en dos épocas y cuatro variedades obtuvo diferencia significativa entre épocas, entre variedades y efectos de interacción, el mayor rendimiento fue de 2.679 t/ha con la variedad Blanca de Junín en la siembra del 25 de diciembre de 2010 y el menor rendimiento de 0.963 con la variedad Pasankalla en la siembra del 25 de noviembre de 2010. Por otra parte, Choquechua (2011) encontró rendimientos de grano de quinua entre 8.171 y 2.375 t/ha para los cultivares CQA025 y CQA051 respectivamente, estos mismos cultivares fueron estudiados por Amiquero (2014) y obtuvo rendimientos de 6.719 y 5.846 t/ha.

Müller et al. (2016) encontraron que la inoculación con *Azospirillum brasilense* proporcionó un incremento en el rendimiento de maíz.

Desarrollo de la raíz

La longitud de raíz se diferenció significativamente en las fuentes de variación del efecto principal

Azospirillum y los efectos de interacción *Glomus* x *Azospirillum* ($p < 0.05$). El número de raíces se diferenció significativamente en las fuentes de variación de tratamientos, efecto principal *Glomus* y los efectos de interacción *Glomus* x *Rhizobium* x *Azospirillum* ($p < 0.05$). El peso de raíz se diferenció significativamente en las fuentes de variación de bloques, tratamientos y los efectos principales de *Rhizobium* y *Azospirillum* ($p < 0.05$). El coeficiente de variación varió de 11.28 a 23.67 y el promedio general fue de 19.47 cm, 4.99 y 6.75 cm.

Longitud de raíz

La longitud de raíz fue mayor cuando se incorporó *Azospirillum* (20.64 cm) frente a la no incorporación (18.30 cm), en promedio de *Glomus* y *Rhizobium*. La longitud de raíz se incrementó cuando se incorporó *Azospirillum* (21.47 cm) independientemente de *Glomus* en promedio de *Rhizobium*, se diferencia significativamente del tratamiento donde no se incorporó *Glomus* y *Azospirillum* en promedio de *Rhizobium*, las combinaciones con presencia de *Glomus* y *Azospirillum* o solo *Glomus* en promedio de *Rhizobium* no se diferenciaron significativamente. El tratamiento donde se incorporó *Rhizobium* y *Azospirillum* resultó con el mejor promedio de longitud de raíz, independientemente de la incorporación o no de *Glomus*, el tratamiento donde solamente se incorporó *Rhizobium* resultó con el menor promedio, el resto de los tratamientos obtuvieron valores intermedios sin diferencia significativa (Tabla 4)

Tabla 4

Prueba de Tukey del efecto de *Glomus*, *Rhizobium* y *Azospirillum* en las variables de rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad INIA 441 "Señor del Huerto. Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Factores		Longitud de raíz		Número de raíces		Peso de raíz		
Gl	Rh	Az	cm			g		
<i>Glomus</i> (Gl)								
0			19.16	a	3.83	b	7.10	a
1			19.78	a	6.16	a	6.40	a
<i>Rhizobium</i> (Rh)								
	0		19.58	a	4.49	a	7.70	a
	1		19.37	a	5.49	a	5.79	b
<i>Azospirillum</i> (Az)								
		0	18.30	b	4.71	a	7.87	a
		1	20.64	a	5.28	a	5.63	b
Interacción Gl x Rh								
0	0		18.90	a	3.67	b	5.65	b

1	0		20.25	a	5.32	ab	5.94	b
0	1		19.42	a	3.98	b	8.55	a
1	1		19.32	a	7.00	b	6.86	ab
Interacción Gl x Az								
0		0	16.85	b	3.45	c	8.22	a
1		0	19.75	ab	5.97	ab	7.52	ab
0		1	21.47	a	4.20	bc	5.98	ab
1		1	19.82	ab	6.35	a	5.28	b
Interacción Rh x Az								
	0	0	19.20	ab	4.50	a	9.30	a
	1	0	17.40	b	4.92	a	6.43	b
	0	1	19.95	ab	4.48	a	6.11	b
	1	1	21.33	a	6.07	a	5.15	b
Interacción Gl x Rh x Az								
0	0	0	18.00	ab	4.13	ab	9.92	a
1	0	0	20.40	ab	4.87	ab	8.68	ab
0	1	0	15.70	b	2.77	b	7.17	ab
1	1	0	19.10	ab	7.07	a	6.51	ab
0	0	1	19.80	ab	3.20	b	6.35	ab
1	0	1	20.10	ab	5.77	ab	5.53	b
0	1	1	23.13	a	5.20	ab	5.04	b
1	1	1	19.53	ab	6.93	a	4.78	b

Número de raíces

El número de raíces fue mayor cuando se incorporó *Glomus* (6.16) frente a la no incorporación (3.83), en promedio de *Rhizobium* y *Azospirillum*. Los tratamientos donde se incorporó *Glomus* y *Rhizobium* resultaron con el mayor número de raíces independientemente de la incorporación o no de *Azospirillum*, los tratamientos donde solamente se incorporó *Rhizobium* o *Azospirillum* resultaron con los menores promedios, el resto de los tratamientos obtuvieron valores intermedios sin diferencia significativa. (Tabla 4)

Peso de raíz

El peso de raíz de quinua fue favorecido por la incorporación de *Rhizobium* (7.70 g) frente a la no incorporación (5.79 g), en promedio de *Glomus* y *Azospirillum*. El peso de raíz fue mayor cuando se incorporó *Azospirillum* (7.87 g) frente a la no incorporación (5.63 g), en promedio de *Glomus* y *Rhizobium*. Los tratamientos donde se incorporaron *Rhizobium* y *Azospirillum* resultaron con el mayor peso de raíces independientemente de la incorporación o no de *Glomus*, los tratamientos donde solamente se

incorporaron *Glomus*, *Rhizobium* y *Azospirillum* o no se incorporó ningún microorganismo resultaron con los menores promedios, el resto de los tratamientos obtuvieron valores intermedios sin diferencia significativa. (Tabla 3.2)

El efecto favorable de *Glomus* en longitud y número de raíces cuando se inocula solo o en combinación con *Rhizobium* y *Azospirillum* se puede explicar debido a que estas Rhizobacterias incrementan su población cuando se inoculan con hongos micorrizicos arbusculares (Riera y Medina (2005).

Córdova (2015) reportó que 8 de 10 cultivos nativos de *Azospirillum* spp fijaron nitrógeno como amonio, produjeron ácido indol acético y solubilizaron fósforo, incrementaron la biomasa radicular, en maíz.

IV. AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por el apoyo económico para la realización del presente estudio.

Al Programa de Investigación en Cultivos Alimenticios, por el apoyo logístico para la realización del presente estudio.

V. REFERENCIAS

- Amiquero, R. (2014). Selección y evaluación de poblaciones varietales de quinua de grano blanco (*Chenopodium quinoa* Willd.). Canaán 2735 msnm Ayacucho [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2048>
- Choquecahua, A. (2011). Caracterización y selección de poblaciones varietales de quinua grano blanco (*Chenopodium quinoa* Willd.). Canaán 2735 m.s.n.m. Ayacucho [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3189>
- Córdova, L. (2015). Efecto de *Azospirillum* spp. Nativas en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* L. “maíz”, en invernadero [Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3692>
- Dazzo, F., & Yanni, Y. (2006). The Natural Rhizobium–Cereal Crop Association as an Example of Plant–Bacteria Interaction. En N. Uphoff (Ed.), *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems* (Vol. 20060863, pp. 109-127). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420017113.ch8>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2008). Infostat (Versión 2008) [Software]. Grupo Infostat. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=37>
- Esquivel-Quispe, R. (2020a). Propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos y su influencia en la producción de maíz amiláceo en Paquecc –Ayacucho. Segunda parte: Hacia una agricultura sostenible. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 53-63.
- Esquivel-Quispe, R. (2020b). Propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos y su influencia en la producción de maíz Amiláceo en Paquecc-Ayacucho. Primera parte: Propagación en cultivos asociados en invernadero. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 42-52.
- Fernandes, C., Cecato, U., 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>
- Hernández, M., Terry, C., & Almogoea, M. (2015). Uso de *Azospirillum* en la agricultura. *Agroecosistemas*, 3(1), 401-413.
- Loredo-Osti, C., López-Reyes, L., & Espinosa-Victoria, D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas. Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 22(2), 225-239.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). Datos y Estadísticas Agrarias. PORTAL SIEA. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicaciones/informacion-estadistica>
- Montgomery, D. (2002). *Diseño y análisis de experimentos* (Segunda edición). LIMUSA WILEY. www.noriega.com.mx
- Müller, T., Sandini, I., Rodrigues, J., Novakowski, J. H., Basi, S., & Kaminski, T. H. (2016). Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. *Ciência Rural*, 46(2), 210-215. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131283>
- Núñez, W. (2018). Fenología de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en dos épocas de siembra. Canaán – INIA a 2735 msnm – Ayacucho [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3093>
- Pérez-Pérez, R., Oudot, M., Serrano, L., Hernández, I., Nápoles, M., Sosa, D., & Pérez-Martínez, S. (2019). Rhizospheric rhizobia identification in maize (*Zea mays* L.) plants. *Agronomía Colombiana*, 37(3), Article 3. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n3.80189>
- Rausch, C., Daram, P., Brunner, S., Jansa, J., Laloi, M., Leggewie, G., Amrhein, N., & Bucher, M. (2001). A phosphate transporter expressed in arbuscule-containing cells in potato. *Nature*, 414(6862), 462-465. <https://doi.org/10.1038/35106601>
- Riera, M., & Medina, N. (2005). Influencia de las micorrizas sobre las poblaciones bac-

terianas y su efecto sobre los rendimientos en secuencias de cultivos. *Cultivos Tropicales*, 26(4), 21-27.

- Romero, A. M., Correa, O. S., Moccia, S., & Rivas, J. G. (2003). Effect of *Azospirillum*-mediated plant growth promotion on the development of bacterial diseases on fresh-market and cherry tomato. *Journal of Applied Microbiology*, 95(4), 832-838. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02053.x>
- Steenhoudt, O., & Vanderleyden, J. (2000). *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: Genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiology Reviews*, 24(4), 487-506. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2000.tb00552.x>
- Thangavel, P., Anjum, N. A., Muthukumar, T., Sridevi, G., Vasudhevan, P., & Maruthupandian, A. (2022). Arbuscular mycorrhizae: Natural modulators of plant-nutrient relation and growth in stressful environments. *Archives of Microbiology*, 204(5), 264. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02882-1>