

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Densidad de plantas y microorganismos (*Azospirillum*, *Rhizobium*
y *Trichoderma*) en el rendimiento de Trigo Harinero (*Triticum
aestivum* L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho**

Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGRÓNOMA

PRESENTADO POR:

Bach. Ruth Edyt GARCIA ESPINOZA

ASESOR:

Dr. José Antonio QUISPE TENORIO

AYACUCHO - PERÚ

2024

*A Dios, por derramar bendiciones sobre mí y
empoderarme de su fuerza para vencer todo
obstáculo desde el principio de mi vida.*

*A mis padres, Eugenio y Leonora quienes fueron y
son los pilares que me apoyaron a lo largo de sus
vidas, me inculcaron valores, principios, la cultura
del trabajo y estudio.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Facultad de Ciencias Agrarias.

A la Escuela Profesional de Agronomía, alma máter de mis estudios profesionales, dónde me inculcaron los saberes impartidos en cada etapa de mi formación para alcanzar mis metas.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, por sus enseñanzas y orientaciones en cada etapa de mi formación. Especialmente agradecida a mi asesor Ing. José Antonio Quispe Tenorio, por el tiempo dedicado para el asesoramiento y aporte del desarrollo y conclusiones en el trabajo de investigación.

A todas las personas, que me brindaron su tiempo apoyándome incondicionalmente para poder culminar de manera satisfactoria este presente trabajo de investigación. Muy agradecida con todos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Bases teóricas	8
1.2.1 <i>Taxonomía del trigo</i>	8
1.2.2 <i>Características morfológicas del trigo</i>	8
1.2.3 <i>Crecimiento del trigo</i>	9
1.2.4 <i>Componentes del rendimiento</i>	9
1.2.5 <i>Trichoderma</i>	10
1.2.6 <i>Azospirillum</i>	11
1.2.7 <i>Rhizobium</i>	12
1.3 Marco conceptual	12
1.3.1 <i>Microorganismos promotores de crecimiento vegetal</i>	12
1.3.2 <i>Densidad de plantas</i>	13
CAPÍTULO II.....	14
METODOLOGÍA.....	14
2.1 Ubicación.....	14
2.2 Materiales y equipos.....	14
2.2.1 <i>Material biológico</i>	14
2.2.2 <i>Condiciones climáticas</i>	15
2.2.3 <i>Características del suelo</i>	16
2.2.4 <i>Factores en estudio</i>	17
2.2.5 <i>Unidad experimental</i>	17
2.2.6 <i>Tratamientos</i>	17

2.2.7	<i>Diseño experimental</i>	18
2.2.8	<i>Campo experimental</i>	18
2.2.9	<i>Variables</i>	19
2.2.10	<i>Labores realizadas</i>	19
2.2.11	<i>Análisis estadístico</i>	21
CAPÍTULO III		22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		22
3.1.	Crecimiento de la raíz	22
3.1.1.	<i>Longitud de raíz</i>	22
3.1.2.	<i>Número de ramificaciones de raíz</i>	24
3.2.	Rendimiento	25
3.2.1.	<i>Altura de planta</i>	25
3.2.2.	<i>Longitud de espiga</i>	27
3.2.3.	<i>Número de espiguillas / espiga</i>	28
3.2.4.	<i>Número de macollos</i>	29
3.2.5	<i>Número de espigas</i>	31
3.2.6	<i>Rendimiento de grano</i>	32
3.3	Caracteres de calidad	36
3.3.1	<i>Peso hectolítrico</i>	36
3.3.2	<i>Peso de 1000 semillas</i>	37
CONCLUSIONES		40
RECOMENDACIONES		41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		42
ANEXOS		46

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 <i>Temperaturas (máxima, mínima, media), precipitación y balance hídrico promedio mensual de julio 2021 - junio 2022</i>	15
Tabla 2.2 <i>Características físicas y químicas del campo experimental</i>	16
Tabla 2.3 <i>Tratamientos para 2 factores según el diseño parcelas divididas.....</i>	18
Tabla 2.4 <i>Variables e indicadores</i>	19
Tabla 2.5 <i>Errores estándar utilizados en la prueba de Tukey</i>	21
Tabla 3.1 <i>Análisis de variancia de la longitud de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....</i>	22
Tabla 3.2 <i>Prueba de Tukey de la longitud de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	23
Tabla 3.3 <i>Prueba de Tukey de la longitud de raíz con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....</i>	23
Tabla 3.4 <i>Análisis de variancia del número de ramificaciones de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....</i>	24
Tabla 3.5 <i>Prueba de Tukey del número de ramificaciones de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	24
Tabla 3.6 <i>Análisis de variancia de la altura de planta con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....</i>	25
Tabla 3.7 <i>Prueba de Tukey de la altura de planta con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	26
Tabla 3.8 <i>Análisis de variancia de la longitud de espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....</i>	27

Tabla 3.9	<i>Prueba de Tukey de la longitud de espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	27
Tabla 3.10	<i>Análisis de variancia del número de espiguillas/espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	28
Tabla 3.11	<i>Prueba de Tukey número de espiguillas/espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	28
Tabla 3.12	<i>Prueba de Tukey número de espiguillas/espiga con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	29
Tabla 3.13	<i>Análisis de variancia del número de macollos con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	29
Tabla 3.14	<i>Prueba de Tukey del número de macollos con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	30
Tabla 3.15	<i>Análisis de variancia del número de espigas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	31
Tabla 3.16	<i>Prueba de Tukey del número de espigas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	31
Tabla 3.17	<i>Análisis de variancia del rendimiento con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	32
Tabla 3.18	<i>Prueba de Tukey del rendimiento de grano con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	33
Tabla 3.19	<i>Prueba de Tukey del rendimiento de grano con microorganismos en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	33

Tabla 3.20	<i>Análisis de variancia del peso hectolítrico con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	36
Tabla 3.21	<i>Prueba de Tukey del peso hectolítrico con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	36
Tabla 3.22	<i>Análisis de variancia del peso de 1000 semillas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	37
Tabla 3.23	<i>Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	38
Tabla 3.24	<i>Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 <i>Diagrama ombrotérmico (temperatura, precipitación)</i>	16
Figura 2.2 <i>Esquema del campo de cultivo</i>	18

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 <i>Resultados de caracteres de raíz, rendimiento y calidad con densidades de planta y microorganismos en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho.....</i>	47

RESUMEN

Se estudió el efecto de la inoculación con *Azospirillum* y coinoculación con *Azospirillum* + *Rhizobium* y *Azospirillum* + *Trichoderma* en el desarrollo de la raíz, rendimiento y calidad de trigo (*Triticum aestivum* L.) variedad INIA 436 Huamanguino en dos densidades de planta, en condiciones del Centro Experimental Canaán, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, campaña agrícola 2020 - 2021. Se utilizó el diseño de parcelas divididas bajo el diseño bloques completos al azar con 8 tratamientos y 3 bloques. Se encontró que a mayor densidad de plantas menor longitud de raíz, con 100 planta.m² se obtuvo 11.38 cm de longitud de raíz y con 400 plantas.m⁻² resultó 8.16 cm. La densidad de plantas y los microorganismos no tuvieron efecto en el número de ramificaciones de la raíz, altura de planta, longitud de espiga, número de macollos por planta, número de espigas por planta y peso hectolítrico con promedios de 21.00 ramas, 66.09 cm, 8.28 cm, 1.93 macollos, 1.85 espigas y 79.46 kg.ha⁻¹ respectivamente. A mayor densidad de plantas menor número de espiguillas por espiga, con 100 planta.m² se obtuvo 48.50 espiguillas por espiga y con 400 plantas.m⁻² resultó 38.00. La inoculación con microorganismos tuvo efecto en el rendimiento de grano, se obtuvo 3.418 tn.ha⁻¹ con *Azospirillum* + *Rhizobium* y 2.262 tn.ha⁻¹ con testigo, siendo diferentes y los rendimientos de 2.878 y 3.350 con *Azospirillum* y *Azospirillum* + *Trichoderma* fueron intermedios. A mayor densidad de plantas menor peso de 1000 semillas, con 100 planta.m⁻² se obtuvo 46.63 g y con 400 plantas.m⁻² resultó 43.20 g.

Palabras clave: Densidad, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Trichoderma*, trigo, rendimiento.

ABSTRACT

The effect of inoculation with *Azospirillum* and co-inoculation with *Azospirillum* + *Rhizobium* and *Azospirillum* + *Trichoderma* on the root development, yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) variety INIA 436 Huamanguino in two plant densities, under conditions of the Canaan Experimental Center, of the National University of San Cristóbal de Huamanga, was studied. Ayacucho, agricultural campaign 2020 - 2021. The design of divided plots was used under the randomized complete blocks design with 8 treatments and 3 blocks. It was found that the higher the density of plants, the shorter the root length, with 100 plants.m² 11.38 cm of root length was obtained and with 400 plants.m² it was 8.16 cm. Plant density and microorganisms had no effect on the number of root branches, plant height, ear length, number of tillers per plant, number of spikes per plant and hectolitic weight with averages of 21.00 branches, 66.09 cm, 8.28 cm, 1.93 tillers, 1.85 spikes and 79.46 kg.ha⁻¹ respectively. The higher the density of plants, the lower the number of spikelets per ear, with 100 plants.m² 48.50 spikelets per ear were obtained and with 400 plants.m⁻² it was 38.00. Inoculation with microorganisms had an effect on grain yield, 3,418 tn.ha⁻¹ were obtained with *Azospirillum* + *Rhizobium* and 2,262 tn.ha⁻¹ with control, being different and the yields of 2,878 and 3,350 with *Azospirillum* and *Azospirillum* + *Trichoderma* they were intermediate. The higher the density of plants, the lower the weight of 1000 seeds, with 100 plants.m² 46.63 g was obtained and with 400 plants.m² it was 43.20 g.

Keywords: Density, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Trichoderma*, wheat, yield

INTRODUCCIÓN

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es un grano originario de la antigua Mesopotamia específicamente en Asia Menor, Asia Central y África (Estrada et al., 2016). En la campaña agrícola 2020 – 2021 la producción nacional de trigo llegó a 202421 toneladas, la región Ayacucho aportó con 12426 toneladas que representa el 6.14 %, en este mismo periodo se registró un rendimiento promedio nacional de 1717 kg/ha, las regiones de Lima Metropolitana y Arequipa destacan con los rendimientos más altos con 7755 y 6570 kg/ha respectivamente, Ayacucho con 1524 kg/ha, está ubicada entre las regiones de menor productividad. Las importaciones de trigo harinero en el año 2021 fueron de 1853981 toneladas, la producción nacional solo cubre el 10.92 % (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023). El trigo como alimento aporta 10.1 % de proteínas, 76.7 % de carbohidratos y 47.55 % de fibras (Estrada et al., 2016)

La producción orgánica del cultivo de trigo harinero requiere un conjunto de nuevos conocimientos, entre ellos el uso de microorganismos eficientes, siendo una posibilidad viable y de bajo costo para este propósito. La Estación Experimental Agraria Canaán – Ayacucho del Instituto Nacional de Innovación Agraria ha producido la variedad de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, con una productividad de 4.53 t/ha en campo de agricultores (Estación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho, 2019). En esta variedad no se tienen estudios de la respuesta agronómica a densidad de plantas y los microorganismos eficientes como son *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma*.

Trichoderma ha demostrado ser efectivo para reducir la acción de patógenos que causan pudrición en plántulas, también se conoce el efecto positivo del *Rhizobium* en plantas no pertenecientes a la familia de las leguminosas, como las gramíneas (Granados et al., 2012). El *Azospirillum* es un género de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas, cuando se asocian a las raíces, contribuyen en la producción y productividad del cultivo, actúan incrementando la parte aérea y raíces (Fernandes et al., 2020)

Los objetivos del presente estudio fueron:

Objetivo general

Evaluar el efecto de dos densidades de planta y microorganismos, *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma* en el rendimiento, calidad y desarrollo del sistema radicular de la variedad de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de dos densidades de planta y microorganismo, *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma* en el rendimiento de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.
2. Evaluar el efecto de dos densidades de planta y microorganismo, *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma* en la calidad de la variedad de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Demicheli et al. (2024) evaluaron el cultivo de trigo como forraje con manejo de fertilización y densidades de siembra en una región semiárida de Minas Gerais, Brasil. Se probaron 3 manejos de fertilización (sin fertilización, organomineral y mineral) y 4 densidades de siembra (200, 350, 500 y 650 semillas m²). El cultivar usado fue MGS Brilhante. Se observó una mayor altura de planta en los tratamientos fertilizados con un promedio de 111.28 cm. Para la materia fresca y seca el tratamiento de fertilización mineral mostró 19.76 % y 18.99 % mayor, respectivamente comparado con los demás. El uso de fertilizante mineral al voleo promueve resultados superiores en términos de rendimiento de materia seca (5.55 t ha⁻¹) en comparación con el fertilizante organomineral (4.63 t ha⁻¹). El aumento de la densidad de siembra no afecta el rendimiento del cultivo.

Gao et al. (2021) llevaron a cabo un experimento de campo en la Estación Experimental de Wuqiao, China de 2015 a 2018 utilizando la variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) 'Nongda399' bajo 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m⁻² de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m⁻² de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión, 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y anthesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0 y W1 fueron esquemas ahorradores. El tratamiento ahorrador de agua (SD3W1) obtuvo un rendimiento similar al cultivo convencional de alto rendimiento (SD1W3), mejoró la productividad de agua en el rango de 14.2 a 39.2 %; se debió principalmente al aumento de la densidad de siembra bajo el riego W1, que mejoró el número de espigas y granos por unidad de área, especialmente la espiga principal y no tuvo un efecto significativo en el peso de mil granos. El aumento de la densidad de siembra bajo riego limitado mejoró la densidad de longitud de las raíces, especialmente en una capa de suelo de 120 a 200

cm, lo que aumentó la absorción y el uso de la humedad profunda del suelo y mejoró la productividad de agua.

Sivojiene et al. (2021) investigaron de manera preliminar cómo los fertilizantes orgánicos aplicados afectan a los microorganismos más activos del suelo. Se analizaron hongos, abundancia de hongos similares a levaduras y abundancia de tres grupos fisiológicos de bacterias: diazotróficas no simbióticas, organotróficas y de asimilación de nitrógeno mineral. Los resultados muestran el efecto de los fertilizantes sobre las tendencias en los cambios en la diversidad de la comunidad de microorganismos. Los resultados del análisis cuantitativo de 2020 de microorganismos cultivables del suelo muestran que la mayor abundancia de bacterias diazotróficas organotróficas y no simbióticas se registró durante la temporada de verano. Por su parte, la abundancia de bacterias que asimilan el nitrógeno mineral y los hongos fue mayor en otoño. La mayor concentración de N_{min} en el suelo se determinó después de fertilizar las plantas con la combinación de estiércol granulado de ave (N170) + sustancia biológica *Azotobacter* spp. Se calculó el rendimiento de la cebada. Se encontró que el mayor rendimiento de cebada de primavera en 2020 se obtuvo al fertilizar el campo experimental con orgánico en combinación con fertilizantes minerales.

Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su impacto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. El análisis de espectroscopia Raman mejorado en superficie indicó que la composición bioquímica de la biopelícula producida por estas cepas incluye proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos (ADN/ARN). Las plantas inoculadas en la cámara de crecimiento dieron como resultado raíces y brotes más grandes y un aumento en la biomasa fresca que los controles. Se observaron aumentos significativos en la altura de la planta (13.3, 16.7%), el rendimiento de grano (29.6, 17.5%) y el número de macollos (18.7, 34.8%), tanto en los ensayos de maceta como en los de campo. Las dos cepas más prometedoras se identificaron como *Brucella* sp. (BF10), *Lysinibacillus macroides* (BF15). Además, la pigmentación de las hojas y el contenido relativo de agua aumentaron significativamente en todas las plantas tratadas. En conjunto, los resultados revelaron que la formación de biopelículas PGPR puede

aumentar la productividad de los cultivos al mejorar el crecimiento y las respuestas fisiológicas y, por lo tanto, ayudar en la agricultura sostenible.

Iqbal et al. (2024) estudiaron las aplicaciones combinadas de *Azospirillum brasilense* y bentonita. A través del estudio de parámetros agronómicos, fisiológicos y relacionados con el suelo, se encontró que la sola aplicación de *Azospirillum brasilense* es más beneficiosa en comparación con la única aplicación de bentonita. La aplicación de bentonita a 10 g kg^{-1} de suelo es más beneficiosa para el crecimiento del cultivo de trigo y el estado de fertilidad del suelo en comparación con la aplicación de bentonita a 5 g kg^{-1} de suelo. La coaplicación de *Azospirillum brasilense* y bentonita a 10 g kg^{-1} de suelo aumenta el rendimiento de grano en un 42. El aumento resultante se debió a un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo, las actividades microbianas, la producción de hormonas de crecimiento y una mayor disponibilidad de agua del suelo para el crecimiento de las plantas.

Correa Deza et al. (2024) desarrollaron un sistema de rizotrópico simple y de bajo costo sin sustrato de suelo, permitiendo la observación del sistema radicular de trigo (*Triticum aestivum* L.) tratado con bioproductos. Para demostrar la efectividad de los rizotrópicos, las semillas de trigo hidratadas se trataron con bioproductos promotores del crecimiento vegetal como *Azospirillum argentinense* REC3 (10^6 CFU.ml^{-1}), flagelina AzFlap (200 nM) o extracto hidroalcohólico de fresa (0.01 mg.mL^{-1}). Este sistema de rizotrópico permitió evaluar de manera no destructiva las raíces (longitud, densidad y proliferación de pelos radiculares), donde los valores de los bioproductos superaron al control.

Gureev et al. (2024) probaron la capacidad de las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas del género *Azospirillum* para reducir los efectos negativos de las altas concentraciones de seis pesticidas diferentes en las características del trigo. De las siete cepas de *Azospirillum* estudiadas, cinco mostraron alta resistencia a al menos un pesticida, y *Niveispirillum irakense* (anteriormente clasificada como *Azospirillum* hasta 2014) fue una de las cepas más resistentes a todos los pesticidas. En la mayoría de los casos, la actividad catalasa aumentó en las cepas resistentes en presencia de plaguicidas. Demostramos que algunas de las cepas de *Azospirillum* más resistentes (incluidas *N. irakense*, *A. brasilense*, *A. picis*, *A. thiophilum* y *A. baldaniorum*) pueden contrarrestar la

inhibición del crecimiento inducida por pesticidas, suprimir el estrés oxidativo. Sin embargo, las bacterias no tuvieron ningún efecto positivo sobre el contenido de clorofila de las plántulas de trigo. Se encontraron *Azospirilla* en la rizosfera de las raíces de trigo 3 meses después de una siembra de trigo en el experimento de campo. Los plaguicidas provocaron una ligera disminución de su cantidad en la rizosfera. Además, la inoculación bacteriana mitigó la disminución de la biomasa de trigo inducida por pesticidas.

Sawadi y Noni (2023) estudiaron el efecto de la adición de fertilizantes biobacterianos y niveles de materia orgánica sobre la eficiencia del riego y la disponibilidad de algunos nutrientes y sobre el rendimiento de la planta de trigo (*Triticum aestivum* L.). Los tratamientos de fertilización biológica incluyeron el uso de dos niveles (con y sin inóculo bacteriano) y los tratamientos de fertilización orgánica (estiércol de búfalo) con tres niveles (0,40,80 toneladas ha⁻¹), mientras que los tratamientos de los periodos de riego fueron a dos niveles (50 y 75%) de la capacidad de campo. Los resultados indicaron que el tratamiento de adición de biofertilizante fue significativamente superior al tratamiento comparativo. Los valores más altos se registraron en cada una de las concentraciones de NPK disponibles en el suelo después de la cosecha, logrando un incremento de (26,81%, 13,21% y 12,85%) secuencialmente, así como el aumento porcentual en la densidad del número de bacterias *A. brasilense* en el suelo durante la etapa de floración fue de 73,03%, El porcentaje de incremento logrado en cada una de las características de rendimiento biológico y rendimiento de grano fue de (19,80%, 5,17%) respectivamente. Mientras que los niveles de materia orgánica se vieron afectados significativamente, logrando un aumento en la concentración de NPK disponible en el suelo (31,30%, 48,33% y 29,22%), respectivamente, los números de *A. brasilense* en el suelo durante la etapa de floración 37,33%, el rendimiento biológico 32,88% y el rendimiento de grano 20,09%. En cuanto a los periodos de riego, no afectaron significativamente a los adjetivos estudiados.

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación se llevó a cabo con inoculante líquido en las semillas. El número promedio de macollos por planta estuvo influenciado por la inoculación de semillas (1.63 y 1.72)

cuando no se inocularon y se inocularon, respectivamente. El peso hectolitrico respondió de manera inversa, reduciéndose a 75.7 kg hL⁻¹. La inoculación con *A. brasilense* incrementó el peso de grano (1%) y no tuvo influencia positiva en las variables número de espigas y espiguillas por espiga, rendimiento de grano y peso del hectolitro.

Zaheer et al. (2022) evaluaron la participación de la citoquinina (Ck) en la promoción del crecimiento y la activación de los sistemas antioxidantes y fisiológicos. Las semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) fueron inoculadas con *Azospirillum brasilense* RA-17 (que produce zeatina tipo Ck) y RA-18 (que no produjo Ck). Los resultados mostraron que la inoculación de semillas con RA-17 mejoró significativamente los parámetros relacionados con el crecimiento y el rendimiento en comparación con RA-18. La actividad de las enzimas, el contenido de prolina y los niveles hormonales endógenos en los granos de trigo mejoraron considerablemente con RA-17 que con RA-18. La cepa RA-17 mejoró la asimilación del grano más que la cepa RA-18, lo que resultó en un mayor rendimiento del cultivo. Estos resultados sugieren que la producción microbiana de Ck puede ser necesaria para estimular el crecimiento de las plantas, promover y activar los sistemas antioxidantes y fisiológicos en el trigo.

Galindo et al. (2022) estudiaron los efectos interactivos de niveles de N y la inoculación con *A. brasilense* sobre la biomasa vegetal, el rendimiento de grano, la eficiencia agronómica (EA) del N aplicado, la recuperación aparente de N-fertilizante (AFR) y el contenido de N en la planta con el objetivo de determinar la viabilidad económica del sistema de producción de trigo. Se probaron 4 niveles de N (0, 50, 100 y 200 kg N ha⁻¹) y dos inoculaciones (sin y con inoculación de semillas con *A. brasilense*). La inoculación con *A. brasilense* mejoró la absorción de AE, AFR y N en las plantas de trigo con una mayor acumulación de N en raíces y brotes y en la acumulación de N en grano bajo niveles de aplicación promedio y alto. La inoculación aumentó la biomasa de raíces y brotes, lo que llevó a un aumento del rendimiento del 10.3% en comparación con las plantas no inoculadas. La inoculación de la planta de trigo asociada a la aplicación del nivel medio de N proporcionó la mayor rentabilidad. Esta práctica tiene el potencial de aumentar el rendimiento del grano de trigo, el uso y la absorción de N y la rentabilidad general.

Roque et al. (2021) evaluaron la eficiencia de la coinoculación de bacterias diazotróficas en cultivares de trigo cultivados en Oxisol Cerrado. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con un esquema factorial de 13 x 3 y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en inoculación con *Azospirillum brasilense* (cepas AbV5 y AbV6 combinadas) y coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum* (cepas SEMIA 5079 y SEMIA 5080 combinadas, y cepa BR3267), así como *Rhizobium tropici* (cepas MT08 y MT15) y *R. leguminosarum* (cepa MT16) combinados o aislados, ensayados en los cultivares de trigo BRS 394, BRS 264 y BRS 254. Las variables analizadas fueron: concentración y acumulación de nitrógeno en grano y contenido de proteína bruta, peso en grano a 100 granos y peso total en grano. El tratamiento que contenía el inoculante comercial de caupí mostró un mayor peso total de grano (5.8766 g). Se observó interacción para la concentración de nitrógeno en grano, particularmente para *A. brasilense* + MT 15 (*R. tropici*) y MT 15 en el cultivar de trigo BRS 264. La coinoculación con bacterias diazotróficas aisladas de plantas leguminosas muestra potencial para su uso en cultivares de trigo.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Taxonomía del trigo

La clasificación del género *Triticum* L. (trigo) es la siguiente: filo: *Angiospermatophyta*, clase: *Monocotyledonopsida*, orden: *Poales* (*Glumiflorae*), familia: *Poaceae* (*Gramineae*), subfamilia: *Pooideae*, tribu: *Triticeae*, subtribu: *Triticinae*, género: *Triticum* L. Las especies del género *Triticum* se pueden dividir en 3 niveles de ploidía y cinco grupos naturales, la serie hexaploide: $2n = 6x = 42$, genoma ABD corresponde a *T. aestivum*. (Bálint et al., 2005)

1.2.2 Características morfológicas del trigo

Lersten (2015) refiere sobre la morfología general del trigo. El brote es un rizoma corto con varios tallos frondosos axilares (macollos) que pueden crecer hasta aproximadamente un metro de altura cada uno. El número de macollos varía según el cultivar, la profundidad y densidad de plantación y las condiciones externas. Cada macollo tiene de cinco a siete nudos. Sin embargo, solo se desarrollan tres o cuatro hojas de follaje, porque los entrenudos inferiores son cortos y, a menudo, en o debajo de la superficie del suelo. La parte superior, u hoja bandera, subtiende la inflorescencia.

Cada macollo produce una inflorescencia, que es un sistema de ramas gruesas y condensadas. La unidad básica de esta espiga, como se le llama, es la espiguilla, dentro de la cual nacen las flores especializadas (floretes) típicas de las gramíneas.

El sistema radicular difuso está formado por raíces adventicias (incluidas las llamadas raíces embrionarias seminales) que se ramifican y se vuelven a ramificar para formar varios órdenes de raíces delgadas. Algunas raíces se extienden horizontalmente de 30 a 35 cm justo debajo de la superficie; otros crecen diagonalmente hacia abajo dentro de los 30 cm superiores del suelo. Sin embargo, por debajo de los 30 cm, las raíces cada vez menos ramificadas se extienden verticalmente hasta 150 cm o más.

1.2.3 Crecimiento del trigo

Miller (1992) identificó 11 estadios de crecimiento del trigo (Escala Feekes):

Feekes 1.0 – Emergencia y formación del macollo principal

Feekes 2.0 - Comienzo de macollaje

Feekes 3.0 – Macollos formados

Feekes 4.0 - Comienzo de crecimiento erecto, alargamiento de vainas

Feekes 5.0 - Vainas de hojas erectas

Feekes 6.0 - Primer nudo visible

Feekes 7.0 - Segundo nudo visible

Feekes 8.0 - Hoja bandera visible

Feekes 9.0 - Lígula de la hoja bandera visible

Feekes 10.0 - Estado de bota

Feekes 11.0 - Maduración

1.2.4 Componentes del rendimiento

Divito y García (2017) refieren que durante el ciclo del cultivo ocurren dos procesos simultáneos: crecimiento y desarrollo. El crecimiento involucra aumento de la biomasa, mientras que el desarrollo hace referencia a la sucesión de estados morfológicos o fisiológicos que se presentan durante el ciclo de vida del cultivo. Ambos procesos están regulados genéticamente e influenciados por el ambiente. Por ello, el patrón de crecimiento y la sucesión de los estados de desarrollo (fenología) puede diferir entre variedades y, dentro de ellas, según las condiciones ambientales.

El rendimiento del grano ("rendimiento") y sus componentes es la expresión definitiva de muchos procesos fisiológicos individuales que han interactuado con el clima y el medio ambiente durante el ciclo de crecimiento del cultivo: número de espiga m^{-2} (SNO; número de planta $m^{-2} \times$ macollos fértiles por planta), número de granos m^{-2} [GNO; número de espiga $m^{-2} \times$ granos por espiga (espiguillas por espiga (SPS) $\times$ granos por espiguilla)] y, peso de mil granos (TGW; g). Aunque la determinación se realiza típicamente en muestras recolectadas destructivamente, algunas evaluaciones en campo también son posibles. Los tres componentes del rendimiento se desarrollan secuencialmente durante el desarrollo del cultivo: primero SNO, luego GNO, y finalmente el peso del grano.(Pask et al., 2013)

Por otra parte, García (2017) considera que el rendimiento del trigo se construye a partir del número de granos por unidad de área y el peso de los granos. El número de granos = plantas/ m^2 $\times$ espigas/planta $\times$ espiguillas/espiga $\times$ granos/espiguilla. Un rendimiento puntual se puede obtener con diferente combinación de los componentes debido a los fenómenos de compensación. El número de granos logrado está estrechamente relacionado al rendimiento y es muy dependiente de las prácticas agronómicas, en tanto el peso de los granos depende más de las condiciones climáticas durante su formación. El aumento en el número de granos no se traduce en forma directa en rendimiento; en parte porque al incrementar los granos formados es mayor la competencia y tienden a ser más chicos. Otra causa posible es que, con poblaciones de espigas altas, la proporción de granos que provienen de zonas distales de la espiga, que son de menor tamaño, es mayor que la de los originados en el medio de la espiga (más pesados). Una importante práctica agronómica consiste en usar densidades de planta y las condiciones ambientales de crecimiento y desarrollo del cultivo siempre están asociada a la época de siembra, el rendimiento y calidad de grano no es el mismo cuando los dos factores interactúan.

1.2.5 *Trichoderma*

Martínez et al. (2013), refieren que la acción de *Trichoderma* como micoparásito natural se demostró por Weindling en 1932, y su utilización en experimentos de control biológico se implementó a partir de 1970, cuando se incrementaron los estudios de campo para su uso en cultivos de hortalizas y ornamentales. No obstante, la información sobre su empleo en la producción agrícola es insuficiente y dispersa. La capacidad de producir

diversos metabolitos y de adaptación a diversas condiciones ambientales y sustratos, confiere a *Trichoderma* la posibilidad de ser utilizado en la industria biotecnológica. El estudio de modos de acción en el proceso de selección de los aislamientos de *Trichoderma* como controlador biológico de determinada plaga, aún no se aborda profundamente como elemento clave en el manejo de la misma. Aspecto que repercute en la eficacia y perdurabilidad de los aislamientos seleccionados en los sistemas productivos.

1.2.6 *Azospirillum*

Este género de bacterias fue descubierto por Johana Dobereiner y ganó importancia en la década de los 70 por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. En razón de la aptitud de fijar nitrógeno en vida libre, esa bacteria fue denominada *Azospirillum*. Este género presenta gran distribución geográfica, siendo encontrada en regiones de clima templado y tropical (Fernandes et al., 2020)

Fernandes et al. (2020), indican que las bacterias del género *Azospirillum* se clasifican como Gram-negativas de vida libre, con formato de bastón y movimiento activo, y poseen de 0.8 a 2 μm de diámetro entre y de 2 a 4 μm de longitud y gránulos intracelulares de poli-hidroxiburitrato. Según algunos autores, estas bacterias son estrictamente aerobias, cuando se les suministran fuentes nitrogenadas o microaerofílicas cuando están en un ambiente libre de N_2 , es decir, cuando necesitan realizar FBN. Sin embargo, estos autores observaron que para promover un ambiente microaerofílico las bacterias en medio semisólido producen una película delgada en forma de velo, con concentración de oxígeno esencial para la fijación del nitrógeno y para iniciar su crecimiento.

El *Azospirillum* posee un metabolismo de carbono y nitrógeno flexible que aumenta su capacidad de competir por la colonización de la rizósfera, además de que se denominan diazótrofos endófitos facultativos por colonizar tanto el interior como la superficie de las raíces (Fernandes et al., 2020)

Fernandes et al. (2020), indican que la colonización ocurre principalmente en la zona de elongación y la zona de los pelos radicales. Cuando están presentes en la rizósfera, estas colonizan tanto la capa de mucigel alrededor de las raíces (colonización externa) como los espacios intercelulares de las raíces (colonización interna).

1.2.7 *Rhizobium*

Los rizobios abarcan una variedad de géneros bacterianos, incluidos *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Allorhizobium* y *Azorhizobium*, pueden establecer simbiosis con las plantas leguminosas. Provocan la formación de órganos especializados, llamados nódulos, en las raíces o tallos de sus huéspedes, en los que reducen el nitrógeno atmosférico y lo ponen a disposición de la planta. La fijación simbiótica de nitrógeno es una fuente importante de nitrógeno. (Sessitsch et al., 2002)

Se ha encontrado que el uso de ciertas cepas de rizobios endófitos como inoculantes para un cultivo de arroz puede mejorar significativamente su crecimiento vegetativo, la productividad del grano y la eficiencia del uso de fertilizantes agronómicos. Los rizobios pueden ayudar a producir un alto rendimiento de grano de arroz con menos dependencia de insumos de fertilizantes inorgánicos. (Dazzo & Yanni, 2006)

1.3 Marco conceptual

1.3.1 *Microorganismos promotores de crecimiento vegetal*

Zaheer et al. (2022) afirma que se conoce que las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas se asocian con varios cultivos de cereales. La rizobacteria ejerce su función sintetizando diversas matrices de fitohormonas, como la citoquinina. Sin embargo, es difícil determinar la promoción del crecimiento de las plantas cuando una bacteria produce muchos tipos diferentes de fitohormonas.

Rafique et al. (2024) refieren que las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) aumentan el rendimiento de los cultivos y reducen las presiones ambientales a través de la formación de biopelículas en climas naturales. Recientemente, la colonización radicular basada en biopelículas por estos microorganismos ha surgido como una estrategia prometedora para la mejora agrícola.

Zaheer et al. (2022) afirma que se conoce que las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas se asocian con varios cultivos de cereales. La rizobacteria ejerce su función sintetizando diversas matrices de fitohormonas, como la citoquinina. Sin embargo, es difícil determinar la promoción del crecimiento de las plantas cuando una bacteria produce muchos tipos diferentes de fitohormonas.

1.3.2 Densidad de plantas

Es el número de plantas implantadas por unidad de superficie de suelo, depende de la condición física del suelo, humedad y temperatura, cantidad y tipo de residuos, también es afectada por la población objetivo. A medida que aumenta la población objetivo el % de implantación se reduce. Ese efecto es atribuible a un fenómeno de autotoxicidad del que hay evidencia en trigo y cebada. Las semillas de estas especies producen sustancias tóxicas para controlar la población inhibiendo la germinación. (García, 2017)

Gao et al. (2021) refiere que la arquitectura favorable de la población de cultivos es la base para obtener altos rendimientos de cultivos y productividad de agua bajo riego limitado.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Ubicación

La investigación se condujo en el Centro Experimental Canaán de la Escuela Profesional de Agronomía - Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se ubica a 13° 08' 00" latitud sur, 74° 13' 00" longitud oeste y a una altura de 2735 msnm, en el distrito de Andrés Avelino Cáceres, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. Campaña agrícola 2021 – 2022.

2.2 Materiales y equipos

2.2.1 Material biológico

Variedad de trigo INIA 436 Huamanguino

Desarrollado por la Estación Experimental Canaán del INIA – Ayacucho. Estación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho (2019), refiere las características morfológicas del trigo harinero INIA 436 Huamanguino. Macollamiento: regular, tipo de espiga: aristada, densidad de espiga: intermedia, color de grano: amarillo ambar, N° promedio granos/espiga: 45.0, peso hectolítrico: 78 kg/hl, peso de mil granos: 49.80 g, altura de planta: 85.00 cm, días a espigado: 77, días a madurez fisiológica: 160, rendimiento promedio en campo de agricultores: 4.53 t/ha.

Rhizobium, Azospirillum y Trichoderma

Se utilizaron inoculantes a base de bacterias de *Rhizobium* y *Azospirillum*, aislados, seleccionadas y producidas en laboratorio mediante el Proyecto Microorganismos Fijadores de Nitrógeno (FBN) y Rizobacterias Promotores del Crecimiento Vegetal (PGPR) de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. El microorganismo *Trichoderma* fue adquirido de SENASA, institución que tiene experiencia en la producción masiva.

2.2.2 Condiciones climáticas

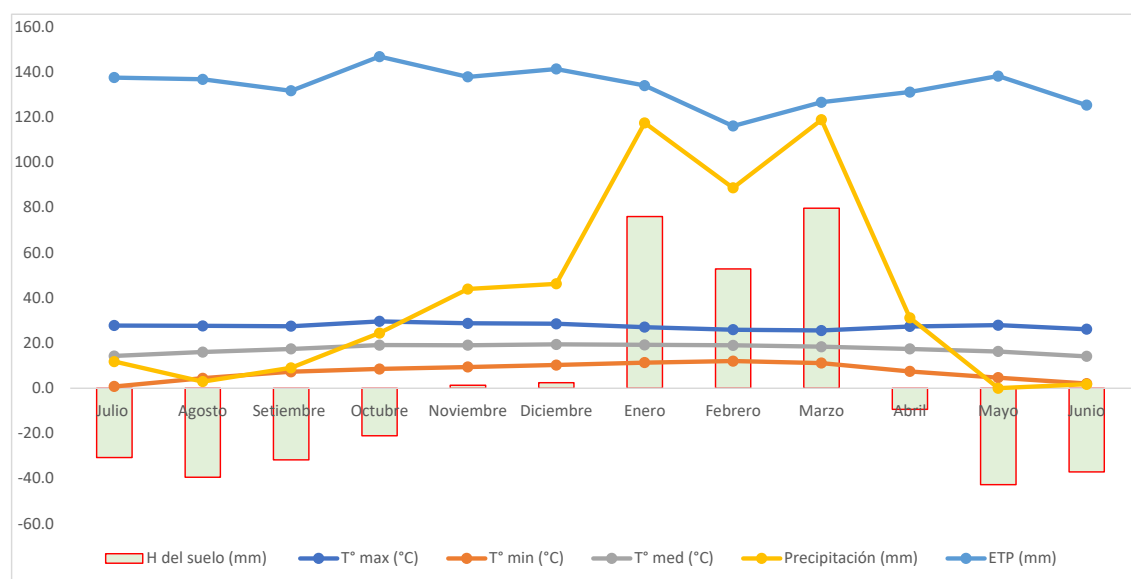
Los datos de temperatura y precipitación fueron tomados de la Estación Climática del INIA en el periodo de julio de 2021 a junio de 2022, ubicada en la Estación Experimental Canaán a 2735 msnm del Instituto Nacional de Innovación Agraria – Ayacucho.

Las mayores precipitaciones se dieron en mes de enero, febrero y marzo, durante el periodo vegetativo del cultivo, en estos meses se tuvo humedad adecuada en el suelo para el crecimiento y desarrollo del cultivo. Durante el periodo de cultivo (octubre de 2021 a marzo de 2022) la temperatura media se mantuvo entre 18.3 a 19.4 °C, valores adecuados para el cultivo de trigo (Tabla 2.1 y Figura 2.1)

Tabla 2.1

Temperaturas (máxima, mínima, media), precipitación y balance hídrico promedio mensual de julio 2021 - junio 2022

Campaña	2021 - 2022												Total
Meses	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	
T° max (°C)	27.7	27.6	27.4	29.6	28.7	28.5	27.0	25.9	25.5	27.3	27.9	26.1	
T° min (°C)	0.7	4.4	7.3	8.5	9.4	10.3	11.3	12.0	11.1	7.4	4.6	2.0	
T° med (°C)	14.2	16.0	17.4	19.0	19.0	19.4	19.2	19.0	18.3	17.4	16.3	14.1	
Número de días	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	
Factor	5.0	5.0	4.8	5.0	4.8	5.0	5.0	4.5	5.0	4.8	5.0	4.8	
Precipitación (mm)	11.8	2.9	9.0	24.4	43.9	46.2	117.5	88.7	118.9	31.2	0.0	1.7	496.2
ETP (mm)	137.6	136.8	131.7	146.9	137.9	141.4	134.0	116.1	126.6	131.2	138.2	125.3	1603.8
Factor de corrección	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
ETP Ajust. (mm)	42.6	42.3	40.8	45.4	42.7	43.7	41.5	35.9	39.2	40.6	42.8	38.8	
H del suelo (mm)	-30.8	-39.4	-31.8	-21.0	1.2	2.5	76.0	52.8	79.7	-9.4	-42.8	-37.1	
Exceso (mm)					40.3	14.8	97.5	127.6	83.0				
Déficit (mm)	30.8	39.4	31.8	21.0						9.4	42.8	37.1	

Figura 2.1*Diagrama ombrotérmico (temperatura, precipitación)*

2.2.3 Características del suelo

El suelo del campo experimental en la campaña anterior fue cultivado con maíz con abonamiento orgánico. Para el análisis del suelo se realizó el muestreo empleando el método convencional a una profundidad de 20 cm. La muestra representativa fue analizada en el Laboratorio de Aguas y Suelos del INIA – Ayacucho, los resultados se pueden observar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2*Características físicas y químicas del campo experimental*

Componente	Contenido	Interpretación según INIA - Ayacucho
pH (1:2)	8.05	Moderadamente alcalino
CE (ds/m)	1.93	Muy ligeramente salino
Materia orgánica (%)	0.337	Bajo
N-total (%)	0.10	Medio
P-disponible (ppm)	29.33	Alto
K-disponible (ppm)	343.00	Alto
Arena	35.30	
Limo	36.00	
Arcilla	28.70	
Clase textural		Franco Arcilloso

Fuente. Laboratorio de Aguas y Suelos del INIA – Ayacucho

El contenido de nitrógeno en el suelo es medio, fósforo y potasio alto, el abonamiento de fondo consistió en abono orgánico. La textura Franco Arcilloso es adecuado para el cultivo de trigo.

2.2.4 Factores en estudio

Densidad de plantas (D)

d1: 100 plantas/m²

d2: 400 plantas/m²

Microorganismos (M)

m0: Testigo

m1: *Azospirillum*

m2: *Azospirillum* + *Rhizobium*

m3: *Azospirillum* + *Trichoderma*

2.2.5 Unidad experimental

La unidad experimental fue una subparcela de cultivo de trigo variedad INIA 436 Huamanguino, ésta consistió en 6 surcos de 3 m de largo y 0.40 m entre surcos, haciendo un área de parcela de 7.2 m².

2.2.6 Tratamientos

Los 8 tratamientos considerando las variables independientes (factores) densidad de plantas (dos densidades) y microorganismos (cuatro niveles) de acuerdo al diseño parcelas divididas (Montgomery, 2002), donde las parcelas fueron asignadas a las densidades de plantas de trigo y las subparcelas a las combinaciones de microorganismos. Estos tratamientos se pueden apreciar en la tabla 2.3.

Tabla 2.3*Tratamientos para 2 factores según el diseño parcelas divididas*

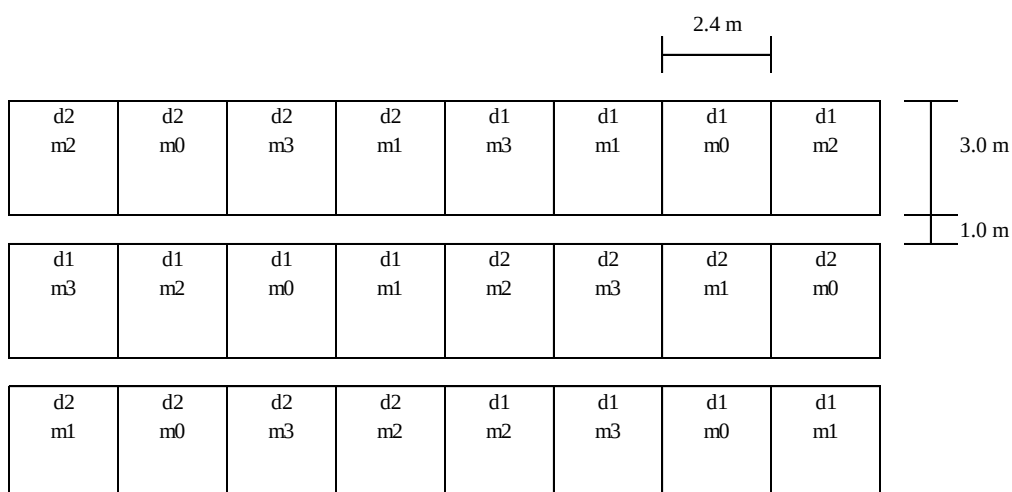
Tratamiento	Densidad (Parcela) Plantas/m ²	Microorganismos (Subparcela)
t1	d1: 100	m0: Testigo
t2	d1: 100	m1: <i>Azospirillum</i>
t3	d1: 100	m2: <i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>
t4	d1: 100	m3: <i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>
t5	d2: 400	m0: Testigo
t6	d2: 400	m1: <i>Azospirillum</i>
t7	d2: 400	m2: <i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>
t8	d2: 400	m3: <i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>

2.2.7 Diseño experimental

El experimento se condujo en el Diseño Bloque Completo Randomizado con 8 tratamientos y 3 bloques (repeticiones). Los tratamientos se distribuyeron de acuerdo con el diseño parcelas divididas, siendo la densidad de plantas asignada a las parcelas y los niveles de microorganismos a las subparcelas.

2.2.8 Campo experimental

En la Figura 2.2 se puede apreciar el esquema del campo de cultivo:

Figura 2.2*Esquema del campo de cultivo*

Área efectiva total = 211.2 m²

2.2.9 Variables

Tabla 2.4

Variables e indicadores

Variables	Indicadores	Estado / Unidad	Medida
V. Independiente:			
Densidad de plantas	Número de plantas / m ²	100 400	Numérica
Microorganismos	Microorganismo	Sin microorg. (Testigo) <i>Azospirillum</i> <i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i> <i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	Nominal
V. Dependiente:			
Crecimiento de raíz	- Longitud de raíz	cm	Numérica
	- N° de ramificaciones	unidad	Numérica
Rendimiento	- Altura de planta	cm	Numérica
	- Longitud de espiga	cm	Numérica
	- N° de macollos / planta	unidad	Numérica
	- N° de espigas / planta	unidad	Numérica
	- N° de espiguillas/espiga	unidad	Numérica
	- Rendimiento de grano	kg/ha	Numérica
Calidad de grano	- Peso hectolítrico	kg/hl	Numérica
	- Peso de 1000 semillas	g/planta	Numérica

2.2.10 Labores realizadas

El campo de cultivo se condujo en base a las labores agronómicas del cultivo de trigo: Preparación del terreno, tratamiento de semilla, siembra, fertilización (abonamiento orgánico de fondo), riegos, control de plantas arvenses, control de plagas y enfermedades.

a) Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó el 10 de octubre del 2021 con la ayuda de un tractor agrícola, para dejar el terreno suelto, mullido y nivelado para la siembra. El orden de preparación fue: primer arado, primera rastra, segundo arado, segunda rastra y surcado.

b) Surcado del terreno

Se realizó con la tracción mecánica teniendo en cuenta el espaciamiento de 040 m. entre surcos.

c) Demarcación y estacado del campo experimental

El estacado y la demarcación correspondiente se realizaron de acuerdo con el croquis del experimento utilizando cordel, wincha y estacas de madera con los que se procedió a demarcar las parcelas, calles y bloques.

d) Abonamiento

El abonamiento de fondo se realizó con una dosis de 3000 kg/ha del abono orgánico Mallki. Se distribuyó a chorro continuo al fondo de los surcos del campo experimental.

e) Siembra

La siembra se realizó después del abonamiento, depositando las semillas de trigo a surco corrido al fondo del surco a una distancia de 0.40 m. Previamente se inocularon las semillas con *Azospirillum* y *Rhizobium* a una dosis de 25 g/kg de semilla.

f) Control de plantas arvenses

El control de las plantas arvenses se realizó con el uso de herramientas manuales, A partir del mes después de la siembra, realizándose tres deshierbos durante todo el periodo vegetativo del cultivo.

g) Control fitosanitario

No se realizó control fitosanitario debido a la baja incidencia de plagas y enfermedades.

h) Riego por goteo

Se instaló el sistema de riego por goteo, el mismo que se utilizó en las primeras etapas del cultivo, luego las precipitaciones fueron regulares hasta la cosecha.

i) Cosecha

La cosecha se realizó cuando el cultivo alcanzó la madurez de cosecha, se determinó por que la planta comenzó a secarse las hojas y cambio de color.

2.2.11 Análisis estadístico

Los datos fueron ordenados en filas (observaciones) y columnas (bloques, tratamientos y variables respuesta) en una hoja Excel para su análisis de acuerdo con el diseño experimental. Para evaluar las hipótesis del diseño experimental se efectuaron los Análisis de Variancia para cada indicador de las variables, cada uno obtenido del promedio de 10 plantas o unidades de análisis.

Para analizar la efectividad de los tratamientos se realizó la prueba de Tukey de promedios de los efectos principales de densidad y microorganismos, y efecto de interacción doble densidad x microorgrnismos. Para el análisis de los datos se utilizó el software Infostat versión 2008 (Di Rienzo et al., 2008)

Para contrastar dos promedios de los efectos principales de densidad y microorganismos, así como los promedios de tratamientos se utilizó los errores estándar de la Tabla 2.5. (Steel & Torrie, 1985)

Tabla 2.5

Errores estándar utilizados en la prueba de Tukey

Diferencias entre	Medida como	Error estándar
Promedios de densidad	$\bar{Y}_{l..}$	$\sqrt{\frac{CM_{(a)}}{rb}}$
Promedio de microorganismos	$\bar{Y}_{.j.}$	$\sqrt{\frac{CM_{(b)}}{ra}}$
Promedios de tratamientos	$\bar{Y}_{ij.}$	$\sqrt{\frac{[(b-1)CM_{(b)} + CM_{(a)}]}{rb}}$

Tomado y adaptado de Steel y Torrie (1985)

CM(a) = Cuadrado medio del error (a), CM(b) = Cuadrado medio del error (b), a = número de niveles de densidad, b = número de niveles de microorganismos, r = número de repeticiones.

La salida del Software Infostat para la prueba de Tukey de tratamientos se corrigió manualmente considerando el error estándar para los promedios de tratamientos (Tabla 2.5)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Crecimiento de la raíz

3.1.1. Longitud de raíz

Tabla 3.1

Análisis de variancia de la longitud de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	10.08	5.04	19.54	0.0487
Densidad (D)	1	62.08	62.08	240.70	0.0041
Error (a)	2	0.52	0.26		
Microorganismo (M)	3	11.77	3.92	1.62	0.2370
D x M	3	3.13	1.04	0.43	0.7355
Error (b)	12	29.10	2.43		
Total	23	116.67			

CV(a) = 2.61 % CV(b) = 15.94 % Promedio = 9.77

En la tabla 3.1 se tiene el análisis de variancia de la longitud de raíz con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre densidades, no se encontró diferencia entre microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general de la longitud de raíz fue de 9.77 cm y un coeficiente de variación (b) de 15.94 %.

Tabla 3.2

Prueba de Tukey de la longitud de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Promedio cm	Tukey 0.05	
100	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	12.83	a	
100	Testigo	11.47	a	b
100	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	10.87	a	b
100	<i>Azospirillum</i>	10.33	a	b
400	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	8.97	a	b
400	<i>Azospirillum</i>	8.33	a	b
400	Testigo	8.07		b
400	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	7.27		b

El mejor promedio de longitud de raíz corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum + Trichoderma*) con 12.83 cm, los menores promedios fueron para los tratamientos 400 plantas/m² + testigo y 400 plantas/m² + *Azospirillum + Rhizobium* con 8.07 y 7.27 cm respectivamente, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 8.33 a 11.47 cm.

Tabla 3.3

Prueba de Tukey de la longitud de raíz con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Promedio cm	Tukey 0.05
100	11.38	a
400	8.16	b

El mayor promedio de longitud de raíz corresponde a la densidad de 100 plantas/m² con 11.38 cm y el menor valor a la densidad de 400 plantas/m² con 8.16 cm, se puede postular que a mayor densidad de plantas el promedio de la longitud de raíz disminuye (Tabla 3.3)

Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su efecto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. Las plantas inoculadas en la cámara de crecimiento dieron como resultado raíces más grandes que los controles.

3.1.2. Número de ramificaciones de raíz

Tabla 3.4

Análisis de variancia del número de ramificaciones de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	315.25	157.63	2.68	0.2719
Densidad (D)	1	661.50	661.50	11.24	0.0786
Error (a)	2	117.75	58.88		
Microorganismo (M)	3	115.00	38.33	1.76	0.2086
D x M	3	60.83	20.28	0.93	0.4562
Error (b)	12	261.67	21.81		
Total	23	1532.00			

CV(a) = 18.27 %

CV(b) = 22.24 %

Promedio = 21.00

En la tabla 3.4 se tiene el análisis de variancia del número de ramificaciones de raíz con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, no se encontró diferencia entre densidades, microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del número de ramificaciones de raíz fue de 21 y un coeficiente de variación de 22.24 %.

Tabla 3.5

Prueba de Tukey del número de ramificaciones de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Promedio	Tukey 0.05	
100	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	32.67	a	
100	Testigo	25.00	a	b
100	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	23.67	a	b
100	<i>Azospirillum</i>	23.67	a	b
400	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	16.67		b
400	Testigo	16.33		b
400	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	15.33		b
400	<i>Azospirillum</i>	14.67		b

Los promedios del número de ramificaciones de raíz de los tratamientos varían de 14.67 a 32.67 para los tratamientos 400 plantas/m² + *Azospirillum* y 100 plantas/m² +

(*Azospirillum* + *Trichoderma*) con 14.67 y 32.67 respectivamente. Los cuatro tratamientos con 400 plantas/m² + los tratamientos de microorganismos no se diferenciaron (Tabla 3.5, $p > 0.05$).

Gao et al. (2021) estudiaron 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m⁻² de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m⁻² de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión y 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y antesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0 y W1 fueron esquemas ahorradores. El tratamiento ahorrador de agua (SD3W1). El aumento de la densidad de siembra bajo riego limitado mejoró la densidad de las raíces, lo que aumentó la absorción y el uso de la humedad profunda del suelo.

3.2. Rendimiento

3.2.1. Altura de planta

Tabla 3.6

Análisis de variancia de la altura de planta con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	63.39	31.70	5.23	0.1604
Densidad (D)	1	3.23	3.23	0.53	0.5413
Error (a)	2	12.11	6.06		
Microorganismo (M)	3	74.19	24.73	0.60	0.6282
D x M	3	65.42	21.81	0.53	0.6717
Error (b)	12	495.91	41.33		
Total	23	714.24			

CV(a) = 1.86 % CV(b) = 9.73 %

Promedio = 66.09

No se encontró diferencia significativa para la altura de planta de trigo en las diferentes fuentes de variación, en el caso de la interacción el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general de la altura de planta fue de 66.09 cm, con un coeficiente de variación de 9.73 %

Tabla 3.7

Prueba de Tukey de la altura de planta con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Promedio (cm)	Tukey 0.05
400	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	70.10	a
100	Testigo	68.30	a
100	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	67.90	a
100	<i>Azospirillum</i>	66.67	a
400	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	65.60	a
400	<i>Azospirillum</i>	64.17	a
400	Testigo	63.03	a
100	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	62.97	a

Los promedios de la altura de planta no se diferencian significativamente al nivel de 0.05, estos presentan valores entre 62.97 cm con el tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum + Rhizobium*) a 70.10 cm con el tratamiento 400 plantas/m² + (*Azospirillum + Trichoderma*) (Tabla 3.7)

Demicheli et al. (2024) evaluaron el cultivo de trigo como forraje con manejo de fertilización y densidades de siembra en una región semiárida de Minas Gerais. Brasil. Se probaron 3 manejos de fertilización (sin fertilización, organomineral y mineral) y 4 densidades de siembra (200, 350, 500 y 650 semillas m²). El cultivar usado fue MGS Brillhante. Se observó una mayor altura de planta en los tratamientos fertilizados con un promedio de 111.28 cm.

Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su efecto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. La composición bioquímica de la biopelícula producida por estas cepas incluye proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos. Las plantas inoculadas en la cámara de crecimiento dieron como resultado aumentos significativos en la altura de la planta (13.3, 16.7 %)

3.2.2. Longitud de espiga

Tabla 3.8

Análisis de variancia de la longitud de espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	1.36	0.68	0.72	0.5808
Densidad (D)	1	12.04	12.04	12.81	0.0700
Error (a)	2	1.88	0.94	1.39	
Microorganismo (M)	3	1.82	0.61	0.90	0.4714
D x M	3	3.79	1.26	1.87	0.1884
Error (b)	12	8.10	0.68		
Total	23	28.99			

CV(a) = 5.82 % CV(b) = 9.93 %

Promedio = 8.28

En la tabla 3.8 se tiene el análisis de variancia de la longitud de espiga con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, no se encontró diferencia entre densidades, microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general de la longitud de espiga fue de 8.28 cm y un coeficiente de variación de 9.93 %.

Tabla 3.9

Prueba de Tukey de la longitud de espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Promedio (cm)	Tukey 0.05	
100	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	9.67	a	
100	Testigo	9.20	a	b
100	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	9.00	a	b
400	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	8.07	a	b
100	<i>Azospirillum</i>	8.07	a	b
400	<i>Azospirillum</i>	7.70	a	b
400	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	7.40	a	b
400	Testigo	7.10		b

El mejor promedio de longitud de espiga corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum + Trichoderma*) con 9.67 cm, el menor promedio fue para el

tratamiento 400 plantas/m² + testigo con 7.10 cm, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 7.40 a 9.20 cm.

3.2.3. Número de espiguillas / espiga

Tabla 3.10

Análisis de variancia del número de espiguillas/espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	199.00	99.50	15.31	0.0613
Densidad (D)	1	661.50	661.50	101.77	0.0097
Error (a)	2	13.00	6.50		
Microorganismo (M)	3	12.83	4.28	0.15	0.9259
D x M	3	38.17	12.72	0.45	0.7190
Error (b)	12	336.00	28.00		
Total	23	1260.50			
CV(a) = 2.95 %CV(b) = 12.24 %		Promedio = 43.25			

En la tabla 3.10 se tiene el análisis de variancia del número de espiguillas/espiga con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre densidades, no se encontró diferencia entre microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del número de espiguillas/espiga fue de 43.250 y un coeficiente de variación de 12.24 %.

Tabla 3.11

Prueba de Tukey número de espiguillas/espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Promedio	Tukey 0.05		
100	Azospirillum + Trichoderma	51.67	a		
100	Testigo	48.00	a	b	
100	Azospirillum	47.67	a	b	c
100	Azospirillum + Rhizobium	46.67	a	b	c
400	Azospirillum + Rhizobium	39.33		b	c
400	Azospirillum	38.00		b	c
400	Azospirillum + Trichoderma	37.33			c
400	Testigo	37.33			c

El mejor promedio de número de espiguillas/espiga corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) con 51.67, el menor promedio fue para los tratamientos 400 plantas/m² + testigo y 400 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) ambos con 37.33, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 38.00 a 48.00.

Tabla 3.12

Prueba de Tukey número de espiguillas/espiga con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Promedio	Tukey 0.05
100	48.50	a
400	38.00	b

El mayor promedio de número de espiguillas/espiga corresponde a la densidad de 100 plantas/m² con 48.50 y el menor valor a la densidad de 400 plantas/m² con 38, se puede postular que a mayor densidad de plantas el promedio número de espiguillas/espiga disminuye (Tabla 3.12)

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y 2 tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* no tuvo influencia positiva en la variable espiguillas por espiga.

3.2.4. Número de macollos

Tabla 3.13

Análisis de variancia del número de macollos con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	1.261	0.630	0.44	0.6964
Densidad (D)	1	14.994	14.994	10.37	0.0844
Error (a)	2	2.891	1.446		
Microorganismo (M)	3	0.385	0.128	0.76	0.5380
D x M	3	0.166	0.055	0.33	0.8055
Error (b)	12	2.026	0.169		
Total	23	21.724			
CV(a) = 3.12 % CV(b) = 21.29 %		Promedio = 1.93			

En la tabla 3.13 se tiene el análisis de variancia del número de macollos con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, no se encontró diferencia entre densidades, microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del número de macollos fue de 1.93 y un coeficiente de variación de 21.29 %.

Tabla 3.14

Prueba de Tukey del número de macollos con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Microorganismos	Promedio	Tukey 0.05	
100	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	2.903	a	
100	Testigo	2.843	a	
100	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	2.757	a	
100	<i>Azospirillum</i>	2.380	a	b
400	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	1.223	b	c
400	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	1.187	b	c
400	Testigo	1.087		c
400	<i>Azospirillum</i>	1.063		c

El mejor promedio de número de macollos corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum + Trichoderma*) con 2.903, sin diferencia entre los tratamientos 100 testigo, 100 + *Azospirillum + Rhizobium* y 100 + *Azospirillum*. El menor promedio fue para el tratamiento de 400 plantas/m² + *Azospirillum* con 1.063, sin diferencia con 400 + testigo, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios.

Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su efecto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. La composición bioquímica de la biopelícula producida por estas cepas incluye proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos. Las plantas inoculadas en la cámara de crecimiento dieron como resultado aumentos significativos en el número de macollos (18.7, 34.8 %)

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento

en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). El número promedio de macollos por planta estuvo influenciado por la inoculación de semillas (1.63 y 1.72) cuando no se inocularon y se inocularon, respectivamente.

3.2.5 Número de espigas

Tabla 3.15

Análisis de variancia del número de espigas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	1.376	0.688	0.55	0.6433
Densidad (D)	1	14.758	14.758	11.89	0.0748
Error (a)	2	2.482	1.241		
Microorganismo (M)	3	0.340	0.113	0.75	0.5442
D x M	3	0.216	0.072	0.48	0.7049
Error (b)	12	1.819	0.152		
Total	23	20.991			
CV(a) = 2.01 % CV(b) = 21.02 %		Promedio = 1.854			

En la tabla 3.15 se tiene el análisis de variancia del número de espigas con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre tratamientos, no se encontró diferencia entre densidades, microorganismos y la interacción densidad x microorganismos. El promedio general del número de espigas fue de 27.67 y un coeficiente de variación de 21.02 %.

3

Tabla 3.16

Prueba de Tukey del número de espigas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Microorganismos	Promedio	Tukey 0.05	
100	Testigo	2.813	a	
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	2.750	a	
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	2.690	a	
100	<i>Azospirillum</i>	2.300	a	b
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	1.180		b c
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	1.110		c
400	<i>Azospirillum</i>	1.007		c
400	Testigo	0.983		c

El mejor promedio de número de espigas corresponde al tratamiento de 400 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) con 37.67, el menor promedio fue para el tratamiento de 100 plantas/m² + *Azospirillum* con 18.33, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 21.33 a 35.33.

Gao et al. (2021) estudiaron 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m-2 de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m-2 de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión y 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y antesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0 y W1 fueron esquemas ahorradores. El tratamiento ahorrador de agua (SD3W1), mejoró el número de espigas.

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* no tuvo influencia positiva en la variable número de espigas.

3.2.6 Rendimiento de grano

Tabla 3.17

Análisis de variancia del rendimiento con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	0.415	0.207	0.40	0.7166
Densidad (D)	1	2.826	2.826	5.39	0.1460
Error (a)	2	1.049	0.525		
Microorganismo (M)	3	2.318	0.773	4.45	0.0254
D x M	3	0.199	0.066	0.38	0.7674
Error (b)	12	2.084	0.174		
Total	23	8.891			
CV(a) = 11.76 %		CV(b) = 13.52 %	Promedio = 3.08		

En la tabla 3.17 se tiene el análisis de variancia del rendimiento de grano con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre microorganismos, no se encontró diferencia entre densidades y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del rendimiento de grano fue de 3.08 tn/ha y un coeficiente de variación de 13.52 %.

Tabla 3.18

Prueba de Tukey del rendimiento de grano con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Promedio (tn/ha)	Tukey 0.05	
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	3.812	a	
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	3.563	a	b
400	<i>Azospirillum</i>	3.333	a	b
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	3.136	a	b
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	3.024	a	b
400	Testigo	2.991	a	b
100	<i>Azospirillum</i>	2.422		b
100	Testigo	2.373		b

El mejor promedio del rendimiento de grano corresponde al tratamiento de 400 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Rhizobium*) con 3.812 tn/ha, el menor promedio fue para los tratamientos 100 plantas/m² + testigo y 100 plantas/m² + *Azospirillum* con 2.373 y 2.422 tn/ha respectivamente, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 2.991 a 3.563 tn/ha.

Tabla 3.19

Prueba de Tukey del rendimiento de grano con microorganismos en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Microorganismo	Promedio	Tukey 0.05	
<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	3.42	a	
<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	3.35	a	b
<i>Azospirillum</i>	2.88	a	b
Testigo	2.68		b

No hay diferencia significativa entre los tratamientos con microorganismos, sin embargo, el testigo también no se diferencia significativamente con los tratamientos

Azospirillum + *Trichoderma* y *Azospirillum*, de estos resultados se puede concluir que el tratamiento *Azospirillum* + *Rhizobium* destacó en el rendimiento de grano con 3.42 tn/ha, mientras que el testigo tuvo 2.68 tn/ha, independientemente de la densidad de plantas (Tabla 3.19)

Demicheli et al. (2024) evaluaron el cultivo de trigo como forraje con manejo de fertilización y densidades de siembra en una región semiárida de Minas Gerais. Brasil. Se probaron 3 manejos de fertilización (sin fertilización, organomineral y mineral) y 4 densidades de siembra (200, 350, 500 y 650 semillas m²). El cultivar usado fue MGS Brillhante. El aumento de la densidad de siembra no afectó el rendimiento del cultivo.

Gao et al. (2021) estudiaron 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m⁻² de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m⁻² de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión y 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y antesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0 y W1 fueron esquemas ahorradores. El tratamiento ahorrador de agua (SD3W1) obtuvo un rendimiento similar al cultivo convencional de alto rendimiento (SD1W3), se debió principalmente al aumento de la densidad de siembra bajo el riego W1.

Sivojiene et al. (2021) investigaron de manera preliminar el efecto de fertilizantes orgánicos en los microorganismos más activos del suelo. Se analizaron hongos, abundancia de hongos similares a levaduras y abundancia de tres grupos fisiológicos de bacterias: diazotróficas no simbióticas, organotróficas y de asimilación de nitrógeno mineral. Los resultados muestran el efecto de los fertilizantes sobre las tendencias en los cambios en la diversidad de la comunidad de microorganismos. Se encontró que el mayor rendimiento de cebada de primavera se obtuvo al fertilizar el campo experimental con orgánico en combinación con fertilizantes minerales.

Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su efecto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. La composición bioquímica de la biopelícula producida por estas cepas incluye proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos. Se observaron aumentos

significativos en el rendimiento de grano (29.6, 17.5%), tanto en los ensayos de maceta como en los de campo. Las dos cepas más prometedoras se identificaron como *Brucella* sp. (BF10), *Lysinibacillus macroides* (BF15). Además, la pigmentación de las hojas y el contenido relativo de agua aumentaron significativamente en todas las plantas tratadas. En conjunto, los resultados revelaron que la formación de biopelículas PGPR puede aumentar la productividad de los cultivos al mejorar el crecimiento y las respuestas fisiológicas y, por lo tanto, ayudar en la agricultura sostenible.

Iqbal et al. (2024) estudiaron las aplicaciones combinadas de *Azospirillum brasilense* y bentonita. A través de la evaluación de parámetros agronómicos, fisiológicos y relacionados con el suelo, se encontró que la sola aplicación de *Azospirillum brasilense* es más beneficiosa en comparación con la única aplicación de bentonita. La aplicación de bentonita a 10 g kg⁻¹ de suelo es más beneficiosa para el crecimiento del cultivo de trigo y el estado de fertilidad del suelo. La coaplicación de *Azospirillum brasilense* y bentonita a 10 g kg⁻¹ de suelo aumenta el rendimiento de grano en un 42 %. El aumento resultante se debió a un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo, las actividades microbianas, la producción de hormonas de crecimiento y una mayor disponibilidad de agua del suelo para el crecimiento de las plantas.

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* no tuvo influencia positiva en la variable rendimiento de grano.

3.3 Caracteres de calidad

3.3.1 Peso hectolítrico

Tabla 3.20

Análisis de variancia del peso hectolítrico con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	6.801	3.400	1.94	0.3398
Densidad (D)	1	0.435	0.435	0.25	0.6676
Error (a)	2	3.500	1.750		
Microorganismo (M)	3	24.599	8.200	1.42	0.2864
D x M	3	4.531	1.510	0.26	0.8523
Error (b)	12	69.510	5.793		
Total	23	109.376			
CV(a) = 0.83 % CV(b) = 3.03 %		Promedio = 79.47			

No se encontró diferencia significativa para el peso hectolítrico de trigo en las diferentes fuentes de variación, en el caso de la interacción el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del peso hectolítrico fue de 321.75, con un coeficiente de variación de 18.31 %

Tabla 3.21

Prueba de Tukey del peso hectolítrico con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Microorganismos	Promedio (kg/hl)	Tukey 0.05
100	<i>Azospirillum</i>	80.85	a
400	<i>Azospirillum</i>	80.75	a
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	80.23	a
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	79.77	a
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	79.34	a
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	78.80	a
400	Testigo	78.61	a
100	Testigo	77.36	a

Los promedios del peso hectolítrico no se diferencian significativamente al nivel de 0.05, estos presentan valores entre 261.67 con el tratamiento de 100 plantas/m² + *Azospirillum* a 386.67 con el tratamiento 400 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Rhizobium*) (Tabla 3.21)

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* no tuvo influencia positiva en la variable peso del hectolitro.

3.3.2 Peso de 1000 semillas

Tabla 3.22

Análisis de variancia del peso de 1000 semillas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	56.79	28.40	20.67	0.0461
Densidad (D)	1	70.38	70.38	51.24	0.0190
Error (a)	2	2.75	1.37		
Microorganismo (M)	3	20.00	6.67	1.02	0.4172
D x M	3	50.16	16.72	2.56	0.1035
Error (b)	12	78.25	6.52		
Total	23	278.33			

CV(a) = 1.30 % CV(b) = 5.69 %

Promedio = 44.91

En la tabla 3.22 se tiene el análisis de variancia del peso de 1000 semillas con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre bloques, tratamientos y densidades, no se encontró diferencia entre microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del peso de 1000 semillas fue de 44.91 g y un coeficiente de variación de 5.69 %.

Tabla 3.23

Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Microorganismos	Promedio (g)	Tukey 0.05	
100	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	47.73	a	
100	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	46.53	a	b
100	<i>Azospirillum</i>	46.47	a	b
100	Testigo	45.77	a	b
400	<i>Azospirillum</i>	45.17	a	b
400	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	44.77	a	b
400	Testigo	43.53	a	b
400	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	39.33		b

El mejor promedio del peso de 1000 semillas corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum + Trichoderma*) con 47.73 g, el menor promedio fue para el tratamiento de 400 plantas/m² + (*Azospirillum + Trichoderma*) con 39.33, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 43.53 a 46.53.

Tabla 3.24

Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Promedio	Tukey 0.05	
100	46.63	a	
400	43.20		b

El mayor promedio del peso de 1000 semillas corresponde a la densidad de 100 plantas/m² con 46.63 g y el menor valor a la densidad de 400 plantas/m² con 43.20 g, se puede postular que a mayor densidad de plantas el promedio del peso de 1000 semillas disminuye (Tabla 3.24)

Gao et al. (2021) estudiaron 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m⁻² de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m⁻² de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión y 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y antesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0

y W1 fueron esquemas ahorradores. El tratamiento ahorrador de agua (SD3W1) no tuvo un efecto significativo en el peso de mil granos.

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* incrementó el peso de grano (1%)

CONCLUSIONES

1. A mayor densidad de plantas menor longitud de raíz, con 100 planta.m² se obtuvo 11.38 cm de longitud de raíz y con 400 plantas.m² resultó 8.16 cm. La densidad de plantas y los microorganismos no tuvieron efecto en el número de ramificaciones de la raíz con promedio de 21.00 ramas
2. La densidad de plantas y los microorganismos no tuvieron efecto en la altura de planta con 66.09 cm, longitud de espiga con 8.28 cm, número de macollos por planta con 1.93 macollos y número de espigas por planta con 1.85 espigas. A mayor densidad de plantas menor número de espiguillas por espiga, con 100 planta.m² se obtuvo 48.50 espiguillas por espiga y con 400 plantas.m² resultó 38.00. La inoculación con microorganismos tuvo efecto en el rendimiento de grano, se obtuvo 3.418 tn.ha⁻¹ con *Azospirillum* + *Rhizobium* y 2.262 tn.ha⁻¹ con testigo, siendo diferentes y los rendimientos de 2.878 y 3.350 con *Azospirillum* y *Azospirillum* + *Trichoderma* fueron intermedios.
3. La densidad de plantas y los microorganismos no tuvieron efecto en el peso hectolítrico con 79.46 kg.hl⁻¹. A mayor densidad de plantas menor peso de 1000 semillas, con 100 planta.m² se obtuvo 46.63 g y con 400 plantas.m² resultó 43.20 g.

RECOMENDACIONES

- Utilizar 400 plantas.m² coinoculado con *Azospirillum* y *Rhizobium* que obtuvo el mejor rendimiento de grano frente a los tratamientos con 100 plantas.m².
- Efectuar estudios del crecimiento y desarrollo de la raíz, componentes de rendimiento y calidad de grano de trigo con diferentes genotipos, bajo diferentes densidades de planta por unidad de área y microorganismos promotores de crecimiento vegetal.
- Efectuar estudios comparativos de rendimiento y calidad de grano entre variedades de trigo en diferentes ambientes, con técnicas de producción orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bálint, A. F., Kovács, G., & Sutka, J. (2005). *Origin and Taxonomy of Wheat in The Light of Recent Research*. <https://doi.org/10.1556/AAgr.48.2000.3.11>
- Bécquer, C. J. B., Lazarovits, G., Nielsen, L., Quintan, M., Adesina, M., Quigley, L., & Lalin, I. (2012). Efecto de la inoculación con bacterias rizosféricas en dos variedades de trigo. Fase II: invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(5), 985-997.
- Correa Deza, M. A., Venegas Tarancón, S. G., Pedraza, R. O., & Filippone, M. P. (2024). Root Growth-Promoting Effect in Wheat Plants Exerted by Azospirillum Argentinense Rec3, its Flagellar Protein Azflap and a Strawberry Hydroalcoholic Extract in a Simple Rhizotron System. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 13(6). Scopus. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.10825>
- 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>
- Demicheli, P. M., Albuquerque, C. J. B., Coelho, M. A. O., Monção, F. P., Aspiazú, I., Dantas, T., de Freitas, R. S., & Rigueira, J. P. S. (2024). Agronomic and bromatological characteristics of forage wheat under different fertilization managements and densities. *Revista Caatinga*, 37. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v37i2195rc>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2008). *Infostat* (Versión Versión 2008) [Software]. Grupo Infostat. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=37>
- Divito, G., & García, F. (2017). *Manual del cultivo del trigo* (Programa Latinoamérica Cono Sur). Programa Latinoamérica Cono Sur.
- Estación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho. (2019). *Trigo INIA 436 – Huamanguino. Nueva Variedad de Trigo Harinero*. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1005>
- Estrada, D. C., Zúniga-González, C. A., Hernández-Rueda, M. J., & Marinero-Orates, E. A. (2016). Cultivo de Trigo harinero *Triticum aestivum*, una alternativa para la soberanía nutricional y adaptación ante el cambio climático, en el departamento

- de Jinotega. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 2(1), 346-362.
<https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5705>
- 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>
- Galindo, F. S., Pagliari, P. H., Fernandes, G. C., Rodrigues, W. L., Boleta, E. H. M., Jalal, A., Céu, E. G. O., Lima, B. H. D., Lavres, J., & Teixeira Filho, M. C. M. (2022). Improving Sustainable Field-Grown Wheat Production With *Azospirillum brasilense* Under Tropical Conditions: A Potential Tool for Improving Nitrogen Management. *Frontiers in Environmental Science*, 10. Scopus. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.821628>
- Gao, Y., Zhang, M., Yao, C., Liu, Y., Wang, Z., & Zhang, Y. (2021). Increasing seeding density under limited irrigation improves crop yield and water productivity of winter wheat by constructing a reasonable population architecture. *Agricultural Water Management*, 253, 106951. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106951>
- García, A. (2017). Densidad de siembra en trigo. *Revista INIA*, 49. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6995/1/revista-INIA-49.p.17-22.pdf
- Gureev, A. P., Kryukova, V. A., Eremina, A. A., Alimova, A. A., Kirillova, M. S., Filatova, O. A., Moskvitina, M. I., Kozin, S. V., Lyasota, O. M., & Gureeva, M. V. (2024). Plant-growth promoting rhizobacteria *Azospirillum* partially alleviate pesticide-induced growth retardation and oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Growth Regulation*. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01186-2>
- Iqbal, R., Valipour, M., Ali, B., Zulfiqar, U., Aziz, U., Zaheer, M. S., Sarfraz, A., Javed, M. A., Afridi, M. S., Ercisli, S., Ali, I., Eldin, S. M., Ali, M. A., & Farah, M. A. (2024). Maximizing wheat yield through soil quality enhancement: A combined approach with *Azospirillum brasilense* and bentonite. *Plant Stress*, 11. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100321>
- Lersten, N. R. (2015). Morphology and Anatomy of the Wheat Plant. En E. G. Heyne (Ed.), *Agronomy Monographs* (pp. 33-75). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr13.2ed.c2>

- Ludwig, R. L., Martin, T. N., Rockenbach, D., Giacomini, S., & Vey, R. T. (2022). Agronomic Performance of Wheat Cultivars in Response to Inoculation (*Azospirillum brasilense*) and Nitrogen Application. *Revista Caatinga*, 35(4), 799-808. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n407rc>
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). Trichoderma spp. Y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal*, 28(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522013000100001&lng=es&tlng=es.
- Miller, T. D. (1992). *Estadios de crecimiento del cultivo de trigo. La identificación y su entendimiento para un mejor manejo de los cultivos*.
- 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
- Pask, A., Pietragalla, J., Mullan, D. M., Chavez-Dulanto, P. N., & Reynolds, M. P. (2013). *Fitomejoramiento fisiológico II: Una guía de campo para la caracterización fenotípica de trigo*. CIMMYT. <http://hdl.handle.net/10883/3390>
- Rafique, M., Naveed, M., Mumtaz, M. Z., Niaz, A., Alamri, S., Siddiqui, M. H., Waheed, M. Q., Ali, Z., Naman, A., Rehman, S. U., Brtnicky, M., & Mustafa, A. (2024). Unlocking the potential of biofilm-forming plant growth-promoting rhizobacteria for growth and yield enhancement in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 14(1). Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66562-4>
- Roque, W. F., Guimarães, S. L., & Bonfim-Silva, E. M. (2021). Development of wheat plants coinoculated with rhizobium strains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(11), 758-763. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n11p758-763>
- Sawadi, S. Z., & Noni, G. B. (2023). *Effect of Azospirillum brasilense Addition and Organic Matter on Irrigation Efficiency, NPK Availability and Wheat Yield (Triticum aestivum L.)*. 1158(2). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/2/022029>
- Sessitsch, A., Howieson, J. G., Perret, X., Antoun, H., & Martínez-Romero, E. (2002). Advances in Rhizobium Research. *Plant Sciences*, 21(4), 323-378.

- Sivojiene, D., Kacergius, A., Baksienė, E., Maseviciene, A., & Zickienė, L. (2021). The influence of organic fertilizers on the abundance of soil microorganism communities, agrochemical indicators, and yield in east lithuanian light soils. *Plants*, 10(12). Scopus. <https://doi.org/10.3390/plants10122648>
- Steel, R., & Torrie, J. (1985). *Bioestadística: Principios y Procedimientos* (Primera en español). McGraw Hill.
- Zaheer, M. S., Ali, H. H., Iqbal, M. A., Erinle, K. O., Javed, T., Iqbal, J., Hashmi, M. I. U., Mumtaz, M. Z., Salama, E. A. A., Kalaji, H. M., Wróbel, J., & Dessoky, E. S. (2022). Cytokinin Production by *Azospirillum brasilense* Contributes to Increase in Growth, Yield, Antioxidant, and Physiological Systems of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Microbiology*, 13. Scopus. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.886041>

ANEXOS

Anexo 1

Resultados de caracteres de raíz, rendimiento y calidad con densidades de planta y microorganismos en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Bloq	Trat	Dens	Micr	Azos	Rhiz	Tric	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
b1	t1	100	m0	0	0	0	10.8	19	61.5	8.1	1.75
b1	t2	100	m1	1	0	0	9.0	18	64.5	8.0	2.08
b1	t3	100	m2	1	1	0	12.6	20	60.3	8.5	2.31
b1	t4	100	m3	1	0	1	12.8	31	71.2	10.0	2.98
b1	t5	400	m0	0	0	0	9.0	21	67.3	8.0	0.96
b1	t6	400	m1	1	0	0	9.3	15	67.5	7.7	0.93
b1	t7	400	m2	1	1	0	6.6	11	59.3	8.2	1.31
b1	t8	400	m3	1	0	1	8.0	13	67.2	7.0	1.52
b2	t1	100	m0	0	0	0	14.1	40	81.2	11.0	4.40
b2	t2	100	m1	1	0	0	9.8	27	69.8	8.0	3.00
b2	t3	100	m2	1	1	0	11.3	31	60.3	9.3	3.29
b2	t4	100	m3	1	0	1	14.3	40	63.5	10.5	3.44
b2	t5	400	m0	0	0	0	7.8	14	64.8	6.8	0.93
b2	t6	400	m1	1	0	0	8.7	14	67.0	8.2	0.74
b2	t7	400	m2	1	1	0	9.1	22	72.2	8.3	1.14
b2	t8	400	m3	1	0	1	9.4	21	68.3	6.7	1.07
b3	t1	100	m0	0	0	0	9.5	16	62.2	8.5	2.38
b3	t2	100	m1	1	0	0	12.2	26	65.7	8.2	2.06
b3	t3	100	m2	1	1	0	8.7	20	68.3	9.2	2.67
b3	t4	100	m3	1	0	1	11.4	27	69.0	8.5	2.29
b3	t5	400	m0	0	0	0	7.4	14	57.0	6.5	1.37
b3	t6	400	m1	1	0	0	7.0	15	58.0	7.2	1.52
b3	t7	400	m2	1	1	0	6.1	13	65.3	7.7	1.11
b3	t8	400	m3	1	0	1	9.5	16	74.8	8.5	1.08

Leyenda:

Bloque		Bloq
Tratamiento		Trat
Densidad	plantas/m ²	Dens
Microorganismo		Micr
<i>Azospirillum</i>		Azos
<i>Rhizobium</i>		Rhiz
<i>Trichoderma</i>		Tric
Longitud de Raíz	cm	Y1
N° de Ramificación/Raíz		Y2
Altura de planta	cm	Y3
Longitud de espiga	cm	Y4
N° de Macollos		Y5

Continúa

Anexo 1

Resultados de caracteres de raíz, rendimiento y calidad con densidades de planta y microorganismos en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Bloq	Trat	Dens	Micr	Azos	Rhiz	Tric	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
b1	t1	100	m0	0	0	0	1.71	40	1.806	75.23	49.3
b1	t2	100	m1	1	0	0	1.92	42	2.014	82.64	48.0
b1	t3	100	m2	1	1	0	2.25	40	2.646	79.89	45.6
b1	t4	100	m3	1	0	1	2.73	55	2.848	78.01	47.2
b1	t5	400	m0	0	0	0	0.93	41	3.221	77.62	46.0
b1	t6	400	m1	1	0	0	0.90	37	3.622	85.21	48.5
b1	t7	400	m2	1	1	0	1.13	34	4.010	78.24	44.6
b1	t8	400	m3	1	0	1	1.44	31	3.513	78.50	41.0
b2	t1	100	m0	0	0	0	4.35	59	2.889	79.29	48.0
b2	t2	100	m1	1	0	0	2.92	52	2.640	81.10	47.0
b2	t3	100	m2	1	1	0	3.15	49	3.167	77.95	47.0
b2	t4	100	m3	1	0	1	3.27	52	3.792	80.91	49.0
b2	t5	400	m0	0	0	0	0.87	38	3.225	81.90	44.6
b2	t6	400	m1	1	0	0	0.72	43	2.857	78.82	47.0
b2	t7	400	m2	1	1	0	1.14	45	4.348	79.96	43.0
b2	t8	400	m3	1	0	1	1.06	38	3.197	81.19	40.0
b3	t1	100	m0	0	0	0	2.38	45	2.424	77.57	40.0
b3	t2	100	m1	1	0	0	2.06	49	2.611	78.81	44.4
b3	t3	100	m2	1	1	0	2.67	51	3.259	81.48	47.0
b3	t4	100	m3	1	0	1	2.25	48	2.768	79.09	47.0
b3	t5	400	m0	0	0	0	1.15	33	2.528	76.32	40.0
b3	t6	400	m1	1	0	0	1.40	34	3.520	78.23	40.0
b3	t7	400	m2	1	1	0	1.06	39	3.079	78.21	46.7
b3	t8	400	m3	1	0	1	1.04	43	3.979	81.00	37.0

Leyenda:

Bloque	Bloq
Tratamiento	Trat
Densidad	Dens
Microorganismo	Micr
<i>Azospirillum</i>	Azos
<i>Rhizobium</i>	Rhiz
<i>Trichoderma</i>	Tric
Número de espigas	Y6
N° Espiguilla/Espiga	Y7
Rendimiento tn/ha	Y8
Peso Hectolitrico ml	Y9
Peso de 1000 semillas g	Y10

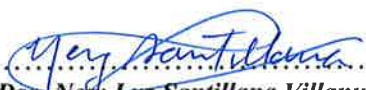
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. RUTH EDYT GARCIA ESPINOZA
R.D. N° 356-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los diez días del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, siendo las diez 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 Dra. Nery Luz Santillana Villanueva, Dr. José Antonio Quispe Tenorio como asesor, Ing. Eduardo Robles García y la Dra. Roberta Esquivel Quispe; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Densidad de plantas y microorganismos (*Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma*) en el rendimiento de Trigo Harinero (*Triticum aestivum* L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrónoma presentado por la Bachiller **RUTH EDYT GARCIA ESPINOZA**.

El señor Decano (e) 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 deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dra. Nery Luz Santillana Villanueva	14	14	15	14
Dr. José Antonio Quispe Tenorio	16	16	16	16
Ing. Eduardo Robles García	15	15	15	15
Dra. Roberta Esquivel Quispe	15	14	15	15
PROMEDIO GENERAL				15

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


.....
Dra. Nery Luz Santillana Villanueva
Presidente


.....
Dr. José Antonio Quispe Tenorio
Asesor


.....
Ing. Eduardo Robles García
Jurado


.....
Dra. Roberta Esquivel Quispe
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por la R.C.F. N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo titulado;

Densidad de plantas y microorganismos (*Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma*) en el rendimiento de trigo harinero (*Triticum aestivum*) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Autor : Ruth Edyt Garcia Espinoza

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 Tesis, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de Veintiseis **(26 %)** 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: 2599256416

Ayacucho, 26 de febrero de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Ing. Edgar Tenorio Mancilla
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de Investigación y tesis - FCA

Densidad de plantas y
microorganismos (Azospirillum,
Rhizobium y Trichoderma) en el
rendimiento de Trigo Harinero
(Triticum aestivum L.) Canaán
2735 msnm, Ayacucho

por Ruth Edyt GARCIA ESPINOZA

Fecha de entrega: 26-feb-2025 08:05a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2599256416

Nombre del archivo: TESIS_RUTH_GARCÍA_CORREGIDO_20-01-25_1_.docx (265.65K)

Total de palabras: 14432

Total de caracteres: 76398

Densidad de plantas y microorganismos (Azospirillum, Rhizobium y Trichoderma) en el rendimiento de Trigo Harinero (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

14%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	10%
2	revistas.unsch.edu.pe Fuente de Internet	8%
3	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
5	cusam.edu.gt Fuente de Internet	1%
6	cienciaspecuarias.inifap.gob.mx Fuente de Internet	1%
7	Yanmei Gao, Meng Zhang, Chunsheng Yao, Yuqing Liu, Zhimin Wang, Yinghua Zhang. "Increasing seeding density under limited irrigation improves crop yield and water	1%

productivity of winter wheat by constructing a
reasonable population architecture",
Agricultural Water Management, 2021
Publicación

8	idoc.pub Fuente de Internet	1 %
9	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	www.scielo.br Fuente de Internet	<1 %
12	repodigital.unrc.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to colpos Trabajo del estudiante	<1 %
14	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	www.posgraduacao.unimontes.br Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Densidad de plantas y microorganismos (*Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma*) en el rendimiento de Trigo Harinero (*Triticum aestivum* L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Density of plants and microorganisms (*Azospirillum*, *Rhizobium* and *Trichoderma*) in the yield of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Ruth Edyt Garcia Espinoza¹,
ruth.garcia.01@unsch.edu.pe

José Antonio Quispe Tenorio²
jose.quispe@unsch.edu.pe

Áreas de investigación: Medio Ambiente
Línea de investigación: Sistemas de Producción Agrícola

RESUMEN

Se estudió el efecto de la inoculación con *Azospirillum* y coinoculación con *Azospirillum* + *Rhizobium* y *Azospirillum* + *Trichoderma* en el desarrollo de la raíz, rendimiento y calidad de trigo (*Triticum aestivum* L.) variedad INIA 436 Huamanguino en dos densidades de planta, en condiciones del Centro Experimental Canaán, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, campaña agrícola 2020 - 2021. Se utilizó el diseño de parcelas divididas bajo el diseño bloques completos al azar con 8 tratamientos y 3 bloques. Se encontró que a mayor densidad de plantas menor longitud de raíz, con 100 planta.m² se obtuvo 11.38 cm de longitud de raíz y con 400 plantas.m² resultó 8.16 cm. La densidad de plantas y los microorganismos no tuvieron efecto en el número de ramificaciones de la raíz, altura de planta, longitud de espiga, número de macollos por planta, número de espigas por planta y peso hectolítico con promedios de 21.00 ramas, 66.09 cm, 8.28 cm, 1.93 macollos, 1.85 espigas y 79.46 kg.ha⁻¹ respectivamente. A mayor densidad de plantas menor número de espiguillas por espiga, con 100 planta.m² se obtuvo 48.50 espiguillas por espiga y con 400 plantas.m² resultó 38.00. La inoculación con microorganismos tuvo efecto en el rendimiento de grano, se obtuvo 3.418 tn.ha⁻¹ con *Azospirillum* + *Rhizobium* y 2.262 tn.ha⁻¹ con testigo, siendo diferentes y los rendimientos de 2.878 y 3.350 con *Azospirillum* y *Azospirillum* + *Trichoderma* fueron intermedios. A mayor densidad de plantas menor peso de 1000 semillas, con 100 planta.m² se obtuvo 46.63 g y con 400 plantas.m² resultó 43.20 g.

Palabras clave: Densidad, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Trichoderma*, trigo, rendimiento.

ABSTRACT

The effect of inoculation with *Azospirillum* and co-inoculation with *Azospirillum* + *Rhizobium* and *Azospirillum* + *Trichoderma* on the root development, yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) variety INIA 436 Huamanguino in two plant densities, under conditions of the Canaan Experimental Center, of the National University of San Cristóbal de Huamanga, was studied. Ayacucho, agricultural campaign 2020 - 2021. The design of divided plots was used under the randomized complete blocks design with 8 treatments and 3 blocks. It was found that the higher the density of plants, the shorter the root length, with 100 plants.m² 11.38 cm of root length was obtained and with 400 plants.m² it was 8.16 cm. Plant density and microorganisms had no effect on the number of root branches, plant height, ear length, number of tillers per plant, number of spikes per plant and hectolitic weight with averages of 21.00 branches, 66.09 cm, 8.28 cm, 1.93 tillers, 1.85 spikes and 79.46 kg.ha⁻¹ respectively. The higher the density of plants, the lower the number of spikelets per ear, with 100 plants.m² 48.50 spikelets per ear were obtained and with 400 plants.m² it was 38.00. Inoculation with microorganisms had an effect on grain yield, 3,418 tn.ha⁻¹ were obtained with *Azospirillum* + *Rhizobium* and 2,262 tn.ha⁻¹ with control, being different and the yields of 2,878 and 3,350 with *Azospirillum* and *Azospirillum* + *Trichoderma* they were intermediate. The higher the density of plants, the lower the weight of 1000 seeds, with 100 plants.m² 46.63 g was obtained and with 400 plants.m² it was 43.20 g.

Keywords: Density, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Trichoderma*, wheat, yield.

I. INTRODUCCIÓN

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es un grano originario de la antigua Mesopotamia específicamente en Asia Menor, Asia Central y África (Estrada et al., 2016). En la campaña agrícola 2020 – 2021 la producción nacional de trigo llegó a 202421 toneladas, la región Ayacucho aportó con 12426 toneladas que representa el 6.14 %, en este mismo periodo se registró un rendimiento promedio nacional de 1717 kg/ha, las regiones de Lima Metropolitana y Arequipa destacan con los rendimientos más altos con 7755 y 6570 kg/ha respectivamente, Ayacucho con 1524 kg/ha, está ubicada entre las regiones de menor productividad. Las importaciones de trigo harinero en el año 2021 fueron de 1853981 toneladas, la producción nacional solo cubre el 10.92 % (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023). El trigo como alimento aporta 10.1 % de proteínas, 76.7 % de carbohidratos y 47.55 % de fibras (Estrada et al., 2016). La producción orgánica del cultivo de trigo harinero requiere un conjunto de nuevos conocimientos, entre ellos el uso de microorganismos eficientes, siendo una posibilidad viable y de bajo costo para este propósito. La Estación Experimental Agraria Canaán – Ayacucho del Instituto Nacional de Innovación Agraria ha producido la variedad de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, con una productividad de 4.53 t/ha⁻¹ en campo de agricultores (Estación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho, 2019). En esta variedad no se tienen estudios de la respuesta agronómica a densidad de plantas y los micrororganismos eficientes como son *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma*.

Trichoderma ha demostrado ser efectivo para reducir la acción de patógenos que causan

podrición en plántulas, también se conoce el efecto positivo del *Rhizobium* en plantas no pertenecientes a la familia de las leguminosas, como las gramíneas (Granados et al., 2012). El *Azospirillum* es un género de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas, cuando se asocian a las raíces, contribuyen en la producción y productividad del cultivo, actúan incrementando la parte aérea y raíces (Fernandes et al., 2020)

Los objetivos del presente estudio fueron:

Objetivo general

Evaluar el efecto de dos densidades de planta y microorganismos, *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma* en el rendimiento, calidad y desarrollo del sistema radicular de la variedad de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de dos densidades de planta y microorganismo, *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma* en el rendimiento de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.
2. Evaluar el efecto de dos densidades de planta y microorganismo, *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Trichoderma* en la calidad de la variedad de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación

La investigación se condujo en el Centro Experimental Canaán de la Escuela Profesional de Agronomía - Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se ubica a 13° 08' 00" latitud sur, 74° 13' 00" longitud oeste y a una altura de

2735 msnm, en el distrito de Andrés Avelino Cáceres, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. Campaña agrícola 2021 – 2022.

2.2 Materiales y equipos

2.2.1 Material biológico

Variedad de trigo INIA 436 Huamanguino

Desarrollado por la Estación Experimental Canaán del INIA – Ayacucho. Estación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho (2019), refiere las características morfológicas del trigo harinero INIA 436 Huamanguino. Macollamiento: regular, tipo de espiga: aristada, densidad de espiga: intermedia, color de grano: amarillo ambar, N° promedio granos/espiga: 45.0, peso hectolítrico: 78 kg/hl, peso de mil granos: 49.80 g, altura de planta: 85.00 cm, días a espigado: 77, días a madurez fisiológica: 160, rendimiento promedio en campo de agricultores: 4.53 t/ha.

Rhizobium*, *Azospirillum* y *Trichoderma

Se utilizaron inoculantes a base de bacterias de *Rhizobium* y *Azospirillum*, aislados, seleccionadas y producidas en laboratorio mediante el Proyecto Microorganismos Fijadores de Nitrógeno (FBN) y Rizobacterias Promotores del Crecimiento Vegetal (PGPR) de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. El microorganismo *Trichoderma* fue adquirido de SENASA, institución que tiene experiencia en la producción masiva.

2.2.2. Condiciones climáticas

Los datos de temperatura y precipitación fueron tomados de la Estación Climática del INIA en el periodo de julio de 2021 a junio de 2022, ubicada en la Estación Experimental Canaán a 2735 msnm del Instituto Nacional de Innovación Agraria – Ayacucho.

Las mayores precipitaciones se dieron en mes de enero, febrero y marzo, durante el periodo vegetativo del cultivo, en estos meses se tuvo

humedad adecuada en el suelo para el crecimiento y desarrollo del cultivo. Durante el periodo de cultivo (octubre de 2021 a marzo de 2022) la temperatura media se mantuvo entre 18.3 a 19.4°C, valores adecuados para el cultivo de trigo.

2.2.3 Características del suelo

El suelo del campo experimental en la campaña anterior fue cultivado con maíz con abonamiento orgánico. Para el análisis del suelo se realizó el muestreo empleando el método convencional a una profundidad de 20 cm. La muestra representativa fue analizada en el Laboratorio de Aguas y Suelos del INIA – Ayacucho.

El contenido de nitrógeno en el suelo es medio, fosforo y potasio alto, el abonamiento de fondo consistió en abono orgánico. La textura Franco Arcilloso es adecuado para el cultivo de trigo.

2.2.4 Factores en estudio

Densidad de plantas (D)

d1: 100 plantas/m²

d2: 400 plantas/m²

Microorganismos (M)

m0: Testigo

m1: *Azospirillum*

m2: *Azospirillum* + *Rhizobium*

m3: *Azospirillum* + *Trichoderma*

2.2.5 Unidad experimental

La unidad experimental fue una subparcela de cultivo de trigo variedad INIA 436 Huamanguino, ésta consistió en 6 surcos de 3 m de largo y 0.40 m entre surcos, haciendo un área de parcela de 7.2 m².

2.2.6 Tratamientos

Los 8 tratamientos considerando las variables independientes (factores) densidad de plantas (dos densidades) y microorganismos (cuatro niveles) de acuerdo al diseño parcelas divididas (Montgomery, 2002), donde las parcelas fueron asignadas a las densidades de plantas de

trigo y las subparcelas a las combinaciones de microorganismos.

2.2.7 Diseño experimental

El experimento se condujo en el Diseño Bloque Completo Randomizado con 8 tratamientos y 3 bloques (repeticiones). Los tratamientos se distribuyeron de acuerdo con el diseño parcelas divididas, siendo la densidad de plantas asignada a las parcelas y los niveles de microorganismos a las subparcelas.

2.2.8 Labores realizadas

El campo de cultivo se condujo en base a las labores agronómicas del cultivo de trigo: Preparación del terreno, tratamiento de semilla, siembra, fertilización (abonamiento orgánico de fondo), riegos, control de plantas arvenses, control de plagas y enfermedades.

a) Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó el 10 de octubre del 2021 con la ayuda de un tractor agrícola, para dejar el terreno suelto, mullido y nivelado para la siembra. El orden de preparación fue: primer arado, primera rastra, segundo arado, segunda rastra y surcado.

b) Surcado del terreno

Se realizó con la tracción mecánica teniendo en cuenta el espaciamiento de 0.40 m. entre surcos.

c) Demarcación del campo experimental

El estacado y la demarcación correspondiente se realizaron de acuerdo con el croquis del experimento utilizando cordel, wincha y estacas de madera con los que se procedió a demarcar las parcelas, calles y bloques.

d) Abonamiento

El abonamiento de fondo se realizó con una dosis de 3000 kg/ha del abono orgánico Mallki. Se distribuyó a chorro continuo al fondo de los surcos del campo experimental.

e) Siembra

La siembra se realizó después del abonamiento, depositando las semillas de trigo

a surco corrido al fondo del surco a una distancia de 0.40 m. Previamente se inocularon las semillas con *Azospirillum* y *Rhizobium* a una dosis de 25 g/kg de semilla.

f) Control de plantas arvenses

El control de las plantas arvenses se realizó con el uso de herramientas manuales, A partir del mes después de la siembra, realizándose tres deshierbos durante el periodo vegetativo.

g) Control fitosanitario

No se realizó control fitosanitario debido a la baja incidencia de plagas y enfermedades.

h) Riego por goteo

Se instaló el sistema de riego por goteo, el mismo que se utilizó en las primeras etapas del cultivo, luego las precipitaciones fueron regulares hasta la cosecha.

i) Cosecha

La cosecha se realizó cuando el cultivo alcanzó la madurez de cosecha, se determinó por que la planta comenzó a secarse las hojas y cambio de color.

2.2.9 Análisis estadístico

Los datos fueron ordenados en filas (observaciones) y columnas (bloques, tratamientos y variables respuesta) en una hoja Excel para su análisis de acuerdo con el diseño experimental. Para evaluar las hipótesis del diseño experimental se efectuaron los Análisis de Variancia para cada indicador de las variables, cada uno obtenido del promedio de 10 plantas o unidades de análisis.

Para analizar la efectividad de los tratamientos se realizó la prueba de Tukey de promedios de los efectos principales de densidad y microorganismos, y efecto de interacción doble densidad x microorganismos. Para el análisis de los datos se utilizó el software Infostat versión 2008 (Di Rienzo et al., 2008)

Para contrastar dos promedios de los efectos principales de densidad y microorganismos, así

como los promedios de tratamientos se utilizó los errores estándar. (Steel & Torrie, 1985)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Crecimiento de la raíz

3.1.1. Longitud de raíz

Tabla 3.1

Análisis de variancia de la longitud de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	10.08	5.04	19.54	0.0487
Densidad (D)	1	62.08	62.08	240.70	0.0041
Error (a)	2	0.52	0.26		
Microorganismo (M)	3	11.77	3.92	1.62	0.2370
D x M	3	3.13	1.04	0.43	0.7355
Error (b)	12	29.10	2.43		
Total	23	116.67			

CV(a) = 2.61 % CV(b) = 15.94 % Promedio = 9.77

En la tabla 3.1 se tiene el análisis de variancia de la longitud de raíz con dos densidades de planta y 4 tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre densidades, no se encontró diferencia entre microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general de la longitud de raíz fue de 9.77 cm y un coeficiente de variación (b) de 15.94 %.

Tabla 3.2

Prueba de Tukey de la longitud de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Prom. cm	Tukey 0.05
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	12.83	a
100	Testigo	11.47	a b
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	10.87	a b
100	<i>Azospirillum</i>	10.33	a b
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	8.97	a b
400	<i>Azospirillum</i>	8.33	a b
400	Testigo	8.07	b
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	7.27	b

El mejor promedio de longitud de raíz corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) con 12.83 cm, los menores promedios fueron para los tratamientos 400 plantas/m² + testigo y 400 plantas/m² + *Azospirillum* + *Rhizobium* con 8.07 y 7.27 cm respectivamente, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 8.33 a 11.47 cm.

Tabla 3.3

Prueba de Tukey de la longitud de raíz con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Promedio cm	Tukey 0.05
100	11.38	a
400	8.16	b

El mayor promedio de longitud de raíz corresponde a la densidad de 100 plantas/m² con 11.38 cm y el menor valor a la densidad de 400 plantas/m² con 8.16 cm, se puede postular que a mayor densidad de plantas el promedio de la longitud de raíz disminuye (Tabla 3.3) Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su efecto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. Las plantas inoculadas en la cámara de crecimiento dieron como resultado raíces más grandes que los controles.

3.1.2. Número de ramificaciones de raíz

Tabla 3.4

Análisis de variancia del número de ramificaciones de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	315.25	157.63	2.68	0.2719
Densidad (D)	1	661.50	661.50	11.24	0.0786
Error (a)	2	117.75	58.88		
Microorganismo (M)	3	115.00	38.33	1.76	0.2086
D x M	3	60.83	20.28	0.93	0.4562
Error (b)	12	261.67	21.81		
Total	23	1532.00			
CV(a) = 18.27 %		CV(b) = 22.24 %		Promedio = 21.00	

En la tabla 3.4 se tiene el análisis de variancia del número de ramificaciones de raíz con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, no se encontró diferencia entre densidades, microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del número de ramificaciones de raíz fue de 21 y un coef. de variación de 22.24 %.

Tabla 3.5

Prueba de Tukey del número de ramificaciones de raíz con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Promedio	Tukey 0.05	
100	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	32.67	a	
100	Testigo	25.00	a	b
100	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	23.67	a	b
100	<i>Azospirillum</i>	23.67	a	b
400	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	16.67		b
400	Testigo	16.33		b
400	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	15.33		b
400	<i>Azospirillum</i>	14.67		b

Los promedios del número de ramificaciones de raíz de los tratamientos varían de 14.67 a 32.67 para los tratamientos 400 plantas/m² + *Azospirillum* y 100 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) con 14.67 y 32.67 respectivamente. Los cuatro tratamientos con 400 plantas/m² + los tratamientos de microorganismos no se diferenciaron (Tabla 3.5, p > 0.05).

Gao et al. (2021) estudiaron 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m⁻² de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m⁻² de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión y 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y anthesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0 y W1 fueron esquemas ahorradores. El tratamiento ahorrador de agua (SD3W1). El aumento de la densidad de siembra bajo riego limitado mejoró la densidad de las raíces, lo que aumentó la absorción y el uso de la humedad profunda del suelo.

3.2. Rendimiento

3.2.1. Altura de planta

Tabla 3.6

Análisis de variancia de la altura de planta con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	63.35	31.70	5.25	0.1604
Densidad (D)	1	3.25	3.25	0.55	0.5415
Error (a)	2	12.11	6.06		
Microorganismo (M)	3	74.15	24.72	0.60	0.6282
D x M	3	65.42	21.81	0.55	0.6717
Error (b)	12	495.91	41.33		
Total	23	714.24			
CV(a) = 1.86 %		CV(b) = 9.73 %		Promedio = 66.09	

No se encontró diferencia significativa para la altura de planta de trigo en las diferentes fuentes de variación, en el caso de la interacción el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general de la altura de planta fue de 66.09 cm, con un coeficiente de variación de 9.73 %

Tabla 3.7
Prueba de Tukey de la altura de planta con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m²	Microorganismos	Prom. (cm)	Tukey 0.05
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	70.10	a
100	Testigo	68.30	a
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	67.90	a
100	<i>Azospirillum</i>	66.67	a
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	65.60	a
400	<i>Azospirillum</i>	64.17	a
400	Testigo	63.03	a
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	62.97	a

Los promedios de la altura de planta no se diferencian significativamente al nivel de 0.05, estos presentan valores entre 62.97 cm con el tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Rhizobium*) a 70.10 cm con el tratamiento 400 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) (Tabla 3.7)

Demicheli et al. (2024) evaluaron el cultivo de trigo como forraje con manejo de fertilización y densidades de siembra en una región semiárida de Minas Gerais. Brasil. Se probaron 3 manejos de fertilización (sin fertilización, organomineral y mineral) y 4 densidades de siembra (200, 350, 500 y 650 semillas m2). El cultivar usado fue MGS Brillhante. Se observó una mayor altura de planta en los tratamientos fertilizados con un promedio de 111.28 cm.

Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su efecto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. La composición bioquímica de la biopelícula producida por estas cepas incluye proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos. Las plantas inoculadas en la cámara de crecimiento dieron como resultado aumentos significativos en la altura de la planta (13.3, 16.7 %)

3.2.2. Longitud de espiga

Tabla 3.8
Análisis de variancia de la longitud de espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	1.36	0.68	0.72	0.5806
Densidad (D)	1	12.04	12.04	12.81	0.0700
Error (a)	2	1.81	0.91	1.35	
Microorganismo (M)	3	1.82	0.61	0.90	0.4714
D x M	3	3.72	1.24	1.82	0.1884
Error (b)	12	8.10	0.67		
Total	23	28.92			
CV(a) = 5.82 %		CV(b) = 9.93 %		Promedio = 8.28	

En la tabla 3.8 se tiene el análisis de variancia de la longitud de espiga con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, no se encontró diferencia entre densidades, microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general de la longitud de espiga fue de 8.28 cm y un coeficiente de variación de 9.93 %.

Tabla 3.9

Prueba de Tukey de la longitud de espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Prom.o (cm)	Tukey 0.05	
100	Azospirillum + Trichoderma	9.67	a	
100	Testigo	9.20	a	b
100	Azospirillum + Rhizobium	9.00	a	b
400	Azospirillum + Rhizobium	8.07	a	b
100	Azospirillum	8.07	a	b
400	Azospirillum	7.70	a	b
400	Azospirillum + Trichoderma	7.40	a	b
400	Testigo	7.10		b

El mejor promedio de longitud de espiga corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (Azospirillum + Trichoderma) con 9.67 cm, el menor promedio fue para el tratamiento 400 plantas/m² + testigo con 7.10 cm, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 7.40 a 9.20 cm.

3.2.3. Número de espiguillas / espiga

Tabla 3.10

Análisis de variancia del número de espiguillas/espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	199.00	99.50	15.31	0.0613
Densidad (D)	1	661.50	661.50	101.77	0.0097
Error (a)	2	13.00	6.50		
Microorganismo (M)	3	12.83	4.28	0.15	0.9259
D x M	3	38.17	12.72	0.45	0.7190
Error (b)	12	336.00	28.00		
Total	23	1260.50			
CV(a) = 2.95 %		CV(b) = 12.24 %		Promedio = 43.25	

En la tabla 3.10 se tiene el análisis de variancia del número de espiguillas/espiga con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre densidades, no se

encontró diferencia entre microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del número de espiguillas/espiga fue de 43.250 y un coeficiente de variación de 12.24 %.

Tabla 3.11

Prueba de Tukey número de espiguillas/espiga con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Prom	Tukey 0.05	
100	Azospirillum + Trichoderma	51.67	a	
100	Testigo	48.00	a	b
100	Azospirillum	47.67	a	b c
100	Azospirillum + Rhizobium	46.67	a	b c
400	Azospirillum + Rhizobium	39.33	b	c
400	Azospirillum	38.00	b	c
400	Azospirillum + Trichoderma	37.33		c
400	Testigo	37.33		c

El mejor promedio de número de espiguillas/espiga corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (Azospirillum + Trichoderma) con 51.67, el menor promedio fue para los tratamientos 400 plantas/m² + testigo y 400 plantas/m² + (Azospirillum + Trichoderma) ambos con 37.33, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 38.00 a 48.00.

Tabla 3.12

Prueba de Tukey número de espiguillas/espiga con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Promedio	Tukey 0.05
100	48.50	a
400	38.00	b

El mayor promedio de número de espiguillas/espiga corresponde a la densidad de 100 plantas/m² con 48.50 y el menor valor a la densidad de 400 plantas/m² con 38, se puede postular que a mayor densidad de plantas el promedio número de espiguillas/espiga disminuye (Tabla 3.12)

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y 2 tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* no tuvo influencia positiva en la variable espiguillas por espiga.

3.2.4. Número de macollos

Tabla 3.13

Análisis de variancia del número de macollos con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	1.26	0.63 ^a	0.4	0.696
Densidad (D)	1	14.99	14.99	10.3 ^a	0.084
Error (a)	2	2.89	1.44 ^a		
Microorganismo (M)	3	0.38 ^a	0.12 ^a	0.7 ^a	0.538 ^a
D x M	3	0.16 ^a	0.05 ^a	0.3 ^a	0.805 ^a
Error (b)	12	2.02 ^a	0.16 ^a		
Total	23	21.72			
CV(a) = 3.12 %		CV(b) = 21.29 %		Promedio = 1.93	

En la tabla 3.13 se tiene el análisis de variancia del número de macollos con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, no se encontró diferencia entre densidades, microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del número de macollos fue de 1.93 y un coeficiente de variación de 21.29 %.

Tabla 3.14

Prueba de Tukey del número de macollos con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Microorganismos	Prom.	Tukey 0.05
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	2.903	a
100	Testigo	2.843	a
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	2.757	a
100	<i>Azospirillum</i>	2.380	a b
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	1.223	b c
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	1.187	b c
400	Testigo	1.087	c
400	<i>Azospirillum</i>	1.063	c

El mejor promedio de número de macollos corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) con 2.903, sin diferencia entre los tratamientos 100 testigo, 100 + *Azospirillum* + *Rhizobium* y 100 + *Azospirillum*. El menor promedio fue para el tratamiento de 400 plantas/m² + *Azospirillum* con 1.063, sin diferencia con 400 + testigo, el resto tuvieron valores intermedios.

Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su efecto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. La composición bioquímica de la biopelícula producida por estas cepas incluye proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos. Las plantas inoculadas en la cámara de crecimiento dieron como resultado aumentos significativos en el número de macollos (18.7, 34.8 %)

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de

inoculación (10 x 3 x 2). El número promedio de macollos por planta estuvo influenciado por la inoculación de semillas (1.63 y 1.72) cuando no se inocularon y se inocularon, respect.

3.2.5 Número de espigas

Tabla 3.15

Análisis de variancia del número de espigas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	1.376	0.688	0.55	0.6433
Densidad (D)	1	14.758	14.758	11.89	0.0748
Error (a)	2	2.482	1.241		
Microorganismo (M)	3	0.340	0.113	0.75	0.5442
D x M	3	0.216	0.072	0.48	0.7049
Error (b)	12	1.819	0.152		
Total	23	20.991			
CV(a) = 2.01 %		CV(b) = 21.02 %		Promedio = 1.854	

En la tabla 3.15 se tiene el análisis de variancia del número de espigas con dos densidades de planta y 4 tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre tratamientos, no se encontró diferencia entre densidades, microorganismos y la interacción densidad x microorganismos. El promedio general del número de espigas fue de 27.67 y un coeficiente de variación de 21.02 %.

Tabla 3.16

Prueba de Tukey del número de espigas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Microorganismos	Prom.	Tukey 0.05
100	Testigo	2.813	a
100	Azospirillum + Trichoderma	2.750	a
100	Azospirillum + Rhizobium	2.690	a
100	Azospirillum	2.300	a b
400	Azospirillum + Trichoderma	1.180	b c
400	Azospirillum + Rhizobium	1.110	c
400	Azospirillum	1.007	c
400	Testigo	0.983	c

El mejor promedio de número de espigas corresponde al tratamiento de 400 plantas/m² + (Azospirillum + Trichoderma) con 37.67, el menor promedio fue para el tratamiento de 100 plantas/m² + Azospirillum con 18.33, el resto tuvieron valores intermedios de 21.33 a 35.33. Gao et al. (2021) estudiaron 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m-2 de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m-2 de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión y 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y anthesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0 y W1 fueron esquemas ahorradores. El tratamiento (SD3W1), mejoró el número de espigas.

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* no tuvo influencia positiva en la variable número de espigas.

3.2.6 Rendimiento de grano

Tabla 3.17

Análisis de variancia del rendimiento con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	0.415	0.207	0.40	0.7166
Densidad (D)	1	2.826	2.826	5.39	0.1460
Error (a)	2	1.049	0.525		
Microorganismo (M)	3	2.318	0.773	4.45	0.0254
D x M	3	0.199	0.066	0.38	0.7674
Error (b)	12	2.084	0.174		
Total	23	8.891			
CV(a) = 11.76 %		CV(b) = 13.52 %		Promedio = 3.08	

En la tabla 3.17 se tiene el análisis de variancia del rendimiento de grano con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre microorganismos, no se encontró diferencia entre densidades y la interacción densidad x microorganismos, es decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del rendimiento de grano fue de 3.08 tn/ha y un coeficiente de variación de 13.52 %.

Tabla 3.18
Prueba de Tukey del rendimiento de grano con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad plantas/m ²	Microorganismos	Prom. (tn/ha)	Tukey 0.05
400	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	3.812	a
400	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	3.563	a b
400	<i>Azospirillum</i>	3.333	a b
100	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	3.136	a b
100	<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	3.024	a b
400	Testigo	2.991	a b
100	<i>Azospirillum</i>	2.422	b
100	Testigo	2.373	b

El mejor promedio del rendimiento de grano corresponde al tratamiento de 400 plantas/m² + (*Azospirillum + Rhizobium*) con 3.812 tn/ha, el menor promedio fue para los tratamientos 100 plantas/m² + testigo y 100 plantas/m² + *Azospirillum* con 2.373 y 2.422 tn/ha respectivamente, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 2.991 a 3.563 tn/ha.

Tabla 3.19
Prueba de Tukey del rendimiento de grano con microorganismos en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Microorganismo	Promedio	Tukey 0.05
<i>Azospirillum + Rhizobium</i>	3.42	a
<i>Azospirillum + Trichoderma</i>	3.35	a b
<i>Azospirillum</i>	2.88	a b
Testigo	2.68	b

No hay diferencia significativa entre los tratamientos con microorganismos, sin embargo, el testigo también no se diferencia significativamente con los tratamientos *Azospirillum + Trichoderma* y *Azospirillum*, de estos resultados se puede concluir que el tratamiento *Azospirillum + Rhizobium* destacó en el rendimiento de grano con 3.42 tn/ha, mientras que el testigo tuvo 2.68 tn/ha, independientemente de la densidad de plantas (Tabla 3.19)

Demicheli et al. (2024) evaluaron el cultivo de trigo como forraje con manejo de fertilización y densidades de siembra en una región semiárida de Minas Gerais. Brasil. Se probaron 3 manejos de fertilización (sin fertilización, organomineral y mineral) y 4 densidades de siembra (200, 350, 500 y 650 semillas m²). El cultivar usado fue MGS Brillhante. El aumento de la densidad de siembra no afectó el rendimiento del cultivo.

Gao et al. (2021) estudiaron 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m⁻² de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m⁻² de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión y 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y antesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0 y W1 fueron

esquemas ahorradores. El tratamiento ahorrador de agua (SD3W1) obtuvo un rendimiento similar al cultivo convencional de alto rendimiento (SD1W3), se debió principalmente al aumento de la densidad de siembra bajo el riego W1.

Sivojiene et al. (2021) investigaron de manera preliminar el efecto de fertilizantes orgánicos en los microorganismos más activos del suelo. Se analizaron hongos, abundancia de hongos similares a levaduras y abundancia de tres grupos fisiológicos de bacterias: diazotróficas no simbióticas, organotróficas y de asimilación de nitrógeno mineral. Los resultados muestran el efecto de los fertilizantes sobre las tendencias en los cambios en la diversidad de la comunidad de microorganismos. Se encontró que el mayor rendimiento de cebada de primavera se obtuvo al fertilizar el campo experimental con orgánico en combinación con fertilizantes minerales.

Rafique et al. (2024) estudiaron cinco cepas identificadas como PGPR potencialmente productores de biopelícula. Se evaluaron en condiciones controladas y de campo para determinar su efecto en el crecimiento del trigo y los atributos de rendimiento. La composición bioquímica de la biopelícula producida por estas cepas incluye proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos. Se observaron aumentos significativos en el rendimiento de grano (29.6, 17.5%), tanto en los ensayos de maceta como en los de campo. Las dos cepas más prometedoras se identificaron como *Brucella* sp. (BF10), *Lysinibacillus macroides* (BF15). Además, la pigmentación de las hojas y el contenido relativo de agua aumentaron significativamente en todas las plantas tratadas. En conjunto, los resultados revelaron que la formación de biopelículas PGPR puede

aumentar la productividad de los cultivos al mejorar el crecimiento y las respuestas fisiológicas y, por lo tanto, ayudar en la agricultura sostenible.

Iqbal et al. (2024) estudiaron las aplicaciones combinadas de *Azospirillum brasilense* y bentonita. A través de la evaluación de parámetros agronómicos, fisiológicos y relacionados con el suelo, se encontró que la sola aplicación de *Azospirillum brasilense* es más beneficiosa en comparación con la única aplicación de bentonita. La aplicación de bentonita a 10 g kg⁻¹ de suelo es más beneficiosa para el crecimiento del cultivo de trigo y el estado de fertilidad del suelo. La coaplicación de *Azospirillum brasilense* y bentonita a 10 g kg⁻¹ de suelo aumenta el rendimiento de grano en un 42 %. El aumento resultante se debió a un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo, las actividades microbianas, la producción de hormonas de crecimiento y una mayor disponibilidad de agua del suelo para el crecimiento de las plantas.

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* no tuvo influencia positiva en la variable rendimiento de grano.

3.3 Caracteres de calidad

3.3.1 Peso hectolítrico

Tabla 3.20

Análisis de variancia del peso hectolítrico con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	6.801	3.401	1.94	0.3391
Densidad (D)	1	0.431	0.431	0.21	0.6671
Error (a)	2	3.501	1.751		
Microorganismo (M)	3	24.591	8.201	1.41	0.2861
D x M	3	4.531	1.511	0.21	0.8521
Error (b)	12	69.511	5.791		
Total	23	109.371			
CV(a) = 0.83 %		CV(b) = 3.03 %		Promedio = 79.47	

No se encontró diferencia significativa para el peso hectolítrico de trigo en las diferentes fuentes de variación, en el caso de la interacción el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del peso hectolítrico fue de 321.75, con un coeficiente de variación de 18.31 %

Tabla 3.21

Prueba de Tukey del peso hectolítrico con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plant/m ²)	Microorganismos	Prom. (kg/hl)	Tukey 0.05
100	<i>Azospirillum</i>	80.85	a
400	<i>Azospirillum</i>	80.75	a
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	80.23	a
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	79.77	a
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	79.34	a
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	78.80	a
400	Testigo	78.61	a
100	Testigo	77.36	a

Los promedios del peso hectolítrico no se diferencian significativamente al nivel de 0.05, estos presentan valores entre 261.67 con el tratamiento de 100 plantas/m² + *Azospirillum* a 386.67 con el tratamiento 400 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Rhizobium*) (Tabla 3.21)

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* no tuvo influencia positiva en la variable peso del hectolitro.

3.3.2 Peso de 1000 semillas

Tabla 3.22

Análisis de variancia del peso de 1000 semillas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloque	2	56.71	28.41	20.61	0.0461
Densidad (D)	1	70.31	70.31	51.21	0.0191
Error (a)	2	2.71	1.31		
Microorganismo (M)	3	20.01	6.61	1.01	0.4171
D x M	3	50.11	16.71	2.51	0.1031
Error (b)	12	78.21	6.51		
Total	23	278.31			
CV(a) = 1.30 %		CV(b) = 5.69 %		Promedio = 44.91	

En la tabla 3.22 se tiene el análisis de variancia del peso de 1000 semillas con dos densidades de planta y cuatro tratamientos de microorganismos en trigo, se encontró diferencia significativa entre bloques, tratamientos y densidades, no se encontró diferencia entre microorganismos y la interacción densidad x microorganismos, es

decir el efecto de densidad es independiente del efecto de microorganismos. El promedio general del peso de 1000 semillas fue de 44.91 g y un coeficiente de variación de 5.69 %.

Tabla 3.23

Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas con microorganismos y densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Microorganismos	Prom. (g)	Tukey 0.05	
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	47.73	a	
100	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	46.53	a	b
100	<i>Azospirillum</i>	46.47	a	b
100	Testigo	45.77	a	b
400	<i>Azospirillum</i>	45.17	a	b
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Rhizobium</i>	44.77	a	b
400	Testigo	43.53	a	b
400	<i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	39.33		b

El mejor promedio del peso de 1000 semillas corresponde al tratamiento de 100 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) con 47.73 g, el menor promedio fue para el tratamiento de 400 plantas/m² + (*Azospirillum* + *Trichoderma*) con 39.33, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios entre 43.53 a 46.53.

Tabla 3.24

Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas con densidades de planta en trigo INIA 436 Huamanguino (Triticum aestivum L.) Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Densidad (plantas/m ²)	Promedio	Tukey 0.05
100	46.63	a
400	43.20	b

El mayor promedio del peso de 1000 semillas corresponde a la densidad de 100 plantas/m² con 46.63 g y el menor valor a la densidad de 400 plantas/m² con 43.20 g, se puede postular que a mayor densidad de plantas el promedio

del peso de 1000 semillas disminuye (Tabla 3.24)

Gao et al. (2021) estudiaron 4 densidades de siembra y tres esquemas de riego. SD1, SD2, SD3, SD4 con 225, 375, 525 y 675 plantas m⁻² de 2015 a 2017 y 300, 450, 600 y 750 plantas m⁻² de 2017 a 2018. W0, W1, W3 sin riego después de la siembra, 75 mm adicionales en la etapa de unión y 75 mm adicionales en las etapas de torneado verde, junta y antesis, respectivamente. El esquema W3 fue de riego suficiente tradicional; W0 y W1 fueron esquemas ahorradores. El tratamiento ahorrador de agua (SD3W1) no tuvo un efecto significativo en el peso de mil granos.

Ludwig et al. (2022) estudiaron la contribución de la inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* para promover el crecimiento sobre componentes de rendimiento en el cultivo de trigo. Los tratamientos estuvieron compuestos por la combinación de diez cultivares, tres manejos de nitrógeno y dos tipos de inoculación (10 x 3 x 2). La inoculación con *A. brasilense* incrementó el peso de grano (1%)

CONCLUSIONES

1. A mayor densidad de plantas menor longitud de raíz, con 100 planta.m² se obtuvo 11.38 cm de longitud de raíz y con 400 plantas.m² resultó 8.16 cm. La densidad de plantas y los microorganismos no tuvieron efecto en el número de ramificaciones de la raíz con promedio de 21.00 ramas
2. La densidad de plantas y los microorganismos no tuvieron efecto en la altura de planta con 66.09 cm, longitud de espiga con 8.28 cm, número de macollos por planta con 1.93 macollos y número de espigas por planta con 1.85 espigas. A

mayor densidad de plantas menor número de espiguillas por espiga, con 100 planta.m² se obtuvo 48.50 espiguillas por espiga y con 400 plantas.m² resultó 38.00. La inoculación con microorganismos tuvo efecto en el rendimiento de grano, se obtuvo 3.418 tn.ha⁻¹ con *Azospirillum* + *Rhizobium* y 2.262 tn.ha⁻¹ con testigo, siendo diferentes y los rendimientos de 2.878 y 3.350 con *Azospirillum* y *Azospirillum* + *Trichoderma* fueron intermedios.

3. La densidad de plantas y los microorganismos no tuvieron efecto en el peso hectolítrico con 79.46 kg.hl⁻¹. A mayor densidad de plantas menor peso de 1000 semillas, con 100 planta.m² se obtuvo 46.63 g y con 400 plantas.m² resultó 43.20 g.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Demicheli, P. M., Albuquerque, C. J. B., Coelho, M. A. O., Monção, F. P., Aspiázú, I., Dantas, T., de Freitas, R. S., & Rigueira, J. P. S. (2024). Agronomic and bromatological characteristics of forage wheat under different fertilization managements and densities. *Revista Caatinga*, 37. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v37i12195rc>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2008). *Infostat* (Versión Versión 2008) [Software]. Grupo Infostat. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=37>
- Estación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho. (2019). *Trigo INIA 436 – Huamanguino. Nueva Variedad de Harinero*. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1005>
- Estrada, D. C., Zúniga-González, C. A., Hernández-Rueda, M. J., & Marinero-Orates, E. A. (2016). Cultivo de Trigo harinero *Triticum aestivum*, una alternativa para la soberanía nutricional y adaptación ante el cambio climático, en el departamento de Jinotega. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 2(1), 346-362. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5705>
- 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>
- Gao, Y., Zhang, M., Yao, C., Liu, Y., Wang, Z., & Zhang, Y. (2021). Increasing seeding density under limited irrigation improves crop yield and water productivity of winter wheat by constructing a reasonable population architecture. *Agricultural Water Management*, 253, 106951. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106951>
- Iqbal, R., Valipour, M., Ali, B., Zulfiqar, U., Aziz, U., Zaheer, M. S., Sarfraz, A., Javed, M. A., Afridi, M. S., Ercisli, S., Ali, I., Eldin, S. M., Ali, M. A., & Farah, M. A. (2024). Maximizing wheat yield through soil quality enhancement: A combined approach with *Azospirillum brasilense* and bentonite. *Plant Stress*, 11. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100321>

- Ludwig, R. L., Martin, T. N., Rockenbach, D., Giacomini, S., & Vey, R. T. (2022). Agronomic Performance of Wheat Cultivars in Response to Inoculation (*Azospirillum brasilense*) and Nitrogen Application. *Revista Caatinga*, 35(4), 799-808. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n407rc>
- 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
- Rafique, M., Naveed, M., Mumtaz, M. Z., Niaz, A., Alamri, S., Siddiqui, M. H., Waheed, M. Q., Ali, Z., Naman, A., Rehman, S. U., Brtnicky, M., & Mustafa, A. (2024). Unlocking the potential of biofilm-forming plant growth-promoting rhizobacteria for growth and yield enhancement in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 14(1). Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66562-4>
- Sivojiene, D., Kacergius, A., Baksienė, E., Maseviciene, A., & Zickienė, L. (2021). The influence of organic fertilizers on the abundance of soil microorganism communities, agrochemical indicators, and yield in east lithuanian light soils. *Plants*, 10(12). Scopus. <https://doi.org/10.3390/plants10122648>
- Steel, R., & Torrie, J. (1985). *Bioestadística: Principios y Procedimientos* (Primera en español). McGraw Hill.