

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Inoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* en el rendimiento en
vaina verde de arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad
Remate a 2750 msnm, Ayacucho**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

Bach. Enrique BELLIDO TENORIO

ASESOR:

M.Sc. Alejandro CAMASCA VARGAS

COASESORES:

**Dr. Cayo GARCÍA BLÁSQUEZ MOROTE
Ing. Susan Milagros ALARCÓN ROMANÍ**

AYACUCHO - PERÚ

2026

Al señor todo poderoso Dios, por bendecirme y darme la fortaleza en cada etapa de mi desarrollo académico.

Con mucho amor y eterno agradecimiento para mis padres Simiona y Eduardo por su respaldo absoluto.

Con sincero afecto a mis hermanos; Eucricia, Maribel, Wilber, Misael, David y Gladys, quienes han sido colaboradores fundamentales a lo largo de mi desarrollo profesional.

Enrique Bellido T.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Agronomía. Gracias por acogerme en este destacado centro de estudio e investigación, y por proporcionarme las herramientas formativas necesarias para poner mis conocimientos al servicio de la sociedad.

Al M.Sc. Alejandro Camasca Vargas, excelente docente de la Escuela Profesional de Agronomía, por actuar como un pilar fundamental en la conducción, asesoría y culminación de la presente tesis.

A mis coasesores, el Dr. Cayo García Blásquez Morote y la Ing. Susan Milagros Alarcón Romaní, grandes profesionales que me brindaron su sabiduría, paciencia y apoyo incondicional en cada etapa de esta investigación y en la estructuración de este informe final.

A mis padres, hermanos y familiares, cuya constante guía y colaboración hicieron posible el desarrollo de este trabajo. Es un orgullo para mí pertenecer a esta familia, a la que agradezco su infinito soporte durante mis años de formación superior.

A la Dra. Nery Luz Santillana Villanueva, al Ing. Edgar Tenorio Mansilla y al M. Sc. Walter Augusto Mateu Mateo, integrantes del panel de jurados, cuyas recomendaciones y acertadas sugerencias enriquecieron significativamente el desarrollo de este trabajo.

De igual manera, se reconoce el valioso aporte de la Estación Experimental Agraria Canaán – INIA y de la Ing. Leivi Tatiana Condori Ataupillco, especialista del proyecto 'Aguas y Suelos'. Su asesoría técnica, constancia y apoyo logístico en el suministro de parcelas, riego, abonamiento y materiales fueron fundamentales durante la etapa experimental de este estudio.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1 Antecedentes de la investigación	3
1.2 Cultivo de arveja	5
1.2.1 Origen y distribución	5
1.2.2 Clasificación taxonómica	6
1.2.3 Fenología del cultivo	6
1.2.4 Importancia del cultivo	8
1.2.5 Valor nutricional	8
1.2.6 Condiciones ambientales	9
1.2.7 Variedades	9
1.2.8 Morfología de la arveja	12
1.2.9 Requerimiento nutricional	13
1.2.10 Principales plagas	14
1.2.11 Principales enfermedades	15
1.2.12 Manejo agronómico	15
1.3 Rhizobium	17
1.3.1 Definición	17
1.3.2 Importancia	18
1.3.3 Taxonomía	18
1.3.4 Simbiosis leguminosas – Rhizobium	18
1.3.5 Fijación de nitrógeno	18
1.4 Azospirillum	19
1.4.1 Definición	19

1.4.2	<i>Principales características</i>	19
1.4.3	<i>Modo de acción</i>	20
1.4.4	<i>Funciones</i>	20
1.5	La Rizobacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR).....	20
CAPÍTULO II		22
METODOLOGÍA		22
2.1.	Ubicación.....	22
2.1.1.	<i>Ubicación política</i>	22
2.1.2.	<i>Ubicación geográfica</i>	22
2.2.	Materiales y equipos.....	22
2.2.1.	<i>Materiales biológicos y vegetal</i>	22
2.2.2.	<i>Materiales</i>	23
2.2.3.	<i>Equipos</i>	23
2.3.	Problemas específicos	23
2.4.	Metodología.....	24
2.4.1.	<i>Antecedentes del campo experimental</i>	24
2.4.2.	<i>Características físicas y químicas del suelo</i>	24
2.5.	Características climatológicas	25
2.6.	Microorganismos en estudio	28
2.7.	Factores del estudio	28
2.7.1.	<i>Variedad de arveja (V)</i>	28
2.7.2.	<i>Inoculante y fertilización (A)</i>	28
2.8.	Tratamientos	28
2.9.	Diseño experimental.....	29
2.10.	Características del campo experimental	29
2.11.	Croquis del campo experimental.....	30
2.12.	Variables dependientes evaluadas	31
2.12.1.	<i>Variables de capacidad simbiótica</i>	31
2.12.2.	<i>Variables de rendimiento</i>	32
2.12.3.	<i>Variables en calidad</i>	33
2.12.4.	<i>Evaluación de la rentabilidad económica</i>	33
2.13.	Instalación y manejo agronómico.....	33
2.13.1.	<i>Arado y nivelación del terreno</i>	33
2.13.2.	<i>Trazado de unidad experimental</i>	33

2.13.3. <i>Surcado</i>	34
2.13.4. <i>Evaluación de semilla</i>	34
2.13.5. <i>Inoculación de la semilla</i>	34
2.13.6. <i>Densidad de siembra</i>	35
2.13.7. <i>Fertilización</i>	35
2.13.8. <i>Siembra</i>	35
2.13.9. <i>Riego</i>	35
2.13.10. <i>Control de maleza</i>	36
2.13.11. <i>Tutorado</i>	36
2.13.12. <i>Aporque</i>	36
2.13.13. <i>Control fitosanitario</i>	36
2.13.14. <i>Cosecha</i>	36
2.14. <i>Análisis estadístico</i>	37
CAPÍTULO III.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1. <i>Análisis de la capacidad simbiótica</i>	38
3.1.1. <i>Parámetros evaluados en la raíz de arveja</i>	38
3.1.2. <i>Longitud de raíz (cm)</i>	39
3.1.3. <i>Peso fresco de raíz más nódulos</i>	40
3.1.4. <i>Peso seco de raíz sin nódulos</i>	41
3.2. <i>Nódulos por planta</i>	42
3.2.1. <i>Número de nódulos por planta</i>	43
3.2.2. <i>Peso fresco de nódulos por planta</i>	44
3.2.3. <i>Peso seco de nódulos por planta</i>	45
3.2.4. <i>Color de Leg-hemoglobina del nódulo</i>	46
3.3. <i>Nitrógeno y proteína total en granos</i>	47
3.4. <i>Variables de rendimiento</i>	50
3.4.1. <i>La altura de la planta</i>	51
3.4.2. <i>Número de vainas por planta</i>	52
3.4.3. <i>Número de granos por vaina</i>	54
3.4.4. <i>Longitud de vainas</i>	56
3.4.5. <i>Rendimiento por hectárea de vaina verde</i>	58
3.5. <i>Correlación de las variables evaluadas</i>	60
3.6. <i>Análisis de rentabilidad económica</i>	61

3.6.1. <i>Peso neto del rendimiento de vaina verde (kg/ha)</i>	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 <i>El valor nutricional y aportes de la arveja.</i>	9
Tabla 1.2 <i>Características del cultivo de arveja variedad Remate.</i>	10
Tabla 1.3 <i>Características morfológicas del grano de arveja variedad Usui.</i>	11
Tabla 1.4 <i>Características morfológicas del grano de arveja variedad Crema rugosa.</i>	12
Tabla 1.5 <i>El requerimiento nutricional de la arveja.</i>	13
Tabla 2.1 <i>Resultados del análisis físico – químico del suelo EEA – Canaán.</i>	24
Tabla 2.2 <i>Temperatura Máxima, Mínima, Media y Balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2024 de la Estación Meteorológica Canaán del Instituto Nacional Innovación Agraria INIA – Ayacucho.</i>	26
Tabla 2.3 <i>Los tratamientos empleados en el trabajo de investigación.</i>	28
Tabla 3.1 <i>Análisis de varianza de los parámetros evaluados de la capacidad simbiótica en la raíz de arveja bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.</i>	38
Tabla 3.2 <i>Análisis de varianza (ANVA) del número de nódulos por planta, peso fresco y peso seco de nódulo por planta por efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	42
Tabla 3.3 <i>Análisis de varianza del contenido total de nitrógeno y proteína, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	47
Tabla 3.4 <i>Análisis de varianza (ANVA) de altura promedio de la planta de arveja hasta madurez fisiológica y cosecha de vainas verde, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	50
Tabla 3.5 <i>Análisis de varianza de número de vainas verdes promedio por planta de arveja, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	52
Tabla 3.6 <i>Análisis de varianza (ANVA) de número de granos promedio por vaina, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	54

Tabla 3.7 <i>Análisis de varianza (ANVA) de la longitud de vainas promedio, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	56
Tabla 3.8 <i>Análisis de varianza del rendimiento de vaina verde de arveja, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	58
Tabla 3.9 <i>Estimación de rentabilidad del cultivo de arveja variedad remate, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 <i>Temperatura Máxima, Mínima, Media y Balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2024 de la Estación Meteorológica Canaán del Instituto Nacional Innovación Agraria INIA – Ayacucho.</i>	27
Figura 2.3 <i>Croquis de la unidad experimental (metros).</i>	30
Figura 2.4 <i>Croquis de la parcela experimental (m).</i>	30
Figura 3.1 <i>Prueba de Tukey (0.05) de los valores promedio de la longitud de raíz de arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación de R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.</i>	39
Figura 3.2 <i>Prueba de Tukey (0.05) de los valores del promedio de peso fresco de raíz más nódulos en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.</i>	40
Figura 3.3 <i>Prueba de Tukey (0.05) del peso seco de raíz sin nódulos de la arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.</i>	41
Figura 3.4 <i>Prueba de Tukey (0.05) del número de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.</i>	43
Figura 3.5 <i>Prueba de Tukey (0.05) del peso fresco de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.</i>	44
Figura 3.6 <i>Prueba de Tukey (0.05) del peso fresco de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.</i>	45
Figura 3.7 <i>Distribución de la intensidad del color de leg-hemoglobina de nódulos por cada tratamiento, por efecto de la inoculación con bacteria en respuesta a la inoculación con R. leguminosarum biovar viciae en arveja variedad Remate.</i>	46
Figura 3.8 <i>Prueba de Tukey (0.05) del nitrógeno y proteína total de granos de arveja variedad Remate por efecto de la inoculación con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.</i>	48

Figura 3.9	<i>Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de altura promedio de la planta en cosecha de vainas verdes en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con <i>R. eguminosarum</i> biovar <i>viceae</i> y <i>A. brasilense</i>.</i>	51
Figura 3.10	<i>Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del número de vainas promedio por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con <i>R. leguminosarum</i> biovar <i>viceae</i> y <i>A. brasilense</i>.</i>	53
Figura 3.11	<i>Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del número de granos promedio por vaina en arveja verde variedad Remate, en respuesta a la inoculación con <i>R. leguminosarum</i> biovar <i>viceae</i> y <i>A. brasilense</i>.</i>	55
Figura 3.12	<i>Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de la longitud promedio de vaina en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con <i>R. leguminosarum</i> biovar <i>viceae</i> y <i>A. brasilense</i>.</i>	57
Figura 3.13	<i>Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del rendimiento promedio de vaina verde en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con <i>R. leguminosarum</i> biovar <i>viceae</i> y <i>A. brasilense</i>.</i>	59
Figura 3.14	<i>Coefficientes de correlación Pearson de las variables evaluadas.</i>	60

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. <i>Costos de producción T1</i>	71
Anexo 2. <i>Costos de producción T2</i>	72
Anexo 3. <i>Costos de producción T3</i>	73
Anexo 4. <i>Costos de producción T4</i>	74
Anexo 5. <i>Costos de producción T5</i>	75
Anexo 6. <i>Fotografías del % germinación, inoculación, preparación del terreno, instalación, labores culturales, cosecha y evaluación.</i>	76

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Estación Experimental Agraria Canaán (INIA), ubicada a una altitud de 2750 metros dentro del distrito de Andrés Avelino Cáceres, en la provincia de Huamanga, región Ayacucho; campaña agrícola del 2024, con el objetivo de evaluar la influencia de la inoculación individual y combinada de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en la capacidad simbiótica, rendimiento, calidad y rentabilidad económica del rendimiento de vainas verdes de la arveja (*Pisum sativum* L.). Se utilizó el Diseño de Bloque Completo Randomizado (DBCR), el experimento se estructuró con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, lo que resultó en un total de 20 unidades experimentales. Se realizó el estudio sobre el efecto de la inoculación individual y combinada de los microorganismos *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en arveja., tratamiento con fertilizante nitrogenado (urea) y un testigo absoluto. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANVA) y a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento que presentó el mayor rendimiento de vainas verdes fue la combinación *R. leguminosarum biovar viciae*. + *A. brasilense*., con 6.47 t ha^{-1} , seguido del tratamiento con *R. leguminosarum biovar viciae*., con 5.97 t ha^{-1} . La inoculación con *A. brasilense*. favoreció significativamente parámetros morfofisiológicos relacionados con el desarrollo radicular, como la longitud de raíz, el peso fresco de raíz más nódulo, peso seco de raíz sin nódulos y la materia seca radicular sin nódulos. En cuanto a la nodulación, el tratamiento con *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*. evidenció un mayor número de nódulos por planta, además de superior peso fresco y peso seco de nódulos. Asimismo, el uso combinado de ambos microorganismos potenció significativamente variables de crecimiento y rendimiento, tales como la altura de la planta, la longitud y cantidad de vainas, el número de granos por vaina y la materia seca sin vainas. También se observaron mayor intensidad de coloración de la leg - hemoglobina en los nódulos, los contenidos de nitrógeno y proteína total en los granos de arveja, indicadores clave de la eficiencia en la fijación biológica de nitrógeno y calidad nutricional del cultivo.

Palabras clave: *R. leguminosarum biovar viciae*, *A. brasilense*, inoculación, arveja, PGPR.

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una planta herbácea perteneciente a la familia de las leguminosas (Fabaceae), de hábito trepador, originaria de la cuenca mediterránea, aunque actualmente se encuentra ampliamente distribuida en todo el mundo. Este cultivo es valorado por su alto contenido nutricional, incluyendo proteínas, minerales y vitaminas. Originaria del Mediterráneo, Oriente Medio y el sudoeste asiático, esta planta se ha dispersado globalmente, adaptándose con facilidad a los climas templados y a las regiones de gran altitud (Suasnabar et al., 2021).

Según Tapia y Fries (2007), menciona que los españoles fueron quienes introdujeron la arveja al Perú junto al trigo y la cebada, se integró en los sistemas agrícolas de la región Suni como un cultivo clave en la rotación de suelos para preservar su fertilidad y garantizar la alimentación de las familias altoandinas. Actualmente, el cultivo se distribuye en las regiones de la sierra y la costa del país. A lo largo del litoral, las zonas de mayor producción abarcan Cajamarca, La Libertad y Áncash. Con respecto a la sierra central, las jurisdicciones que lideran la cosecha son Tarma, Jauja, Huancayo, Huánuco, Huancavelica y Ayacucho. Finalmente, en el sector sureño, la siembra se localiza en Paucartambo, Paruro y en varios distritos del departamento de Arequipa.

Según el Instituto de Innovación Agraria (INIA,2024), estudios realizados sobre el cultivo de arveja, se ha desarrollado y seleccionado un nuevo cultivar denominado INIA 103 Remate. Este cultivar destaca por su elevada adaptabilidad a diversas condiciones agroclimáticas presentes en el Perú, lo que le permite una buena capacidad de crecimiento en distintas regiones del país. En cuanto a su rendimiento presenta un promedio de producción de 6.3 toneladas por hectárea de vaina verde y 1.6 toneladas por hectárea en grano seco. Específicamente, en la región de Ayacucho, se reporta un rendimiento promedio de 3.500 a 4.500 kg/ha en grano verde y 800 a 1000 kg/ha en grano seco, reflejando la variabilidad productiva según la zona y las condiciones locales.

La relevancia de esta investigación se centra en generar evidencia que valide el empleo de inoculantes basados en bacterias específicas, diseñadas para la fijación del nitrógeno atmosférico (FBN) como, *R. leguminosarum biovar viciae* y promotores del crecimiento vegetal (PGPR), *A. brasilense*, incrementen la productividad en el beneficio del productor.

La interacción positiva y beneficiosa en el cultivo de arveja promueve una agricultura sostenible y respetuosa con el entorno, fortaleciendo al mismo tiempo la seguridad alimentaria de los hogares. Bajo esta premisa, se llevó a cabo este estudio, el cual plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la influencia de la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en la capacidad simbiótica, rendimiento, calidad y rentabilidad económica en vainas verdes de la arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate a 2750 msnm, Ayacucho.

Objetivos específicos

1. Evaluar la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* sobre la capacidad simbiótica de la arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate.
2. Evaluar la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* sobre el rendimiento de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate.
3. Evaluar la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en la calidad de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate.
4. Evaluar la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en la rentabilidad de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la investigación

En un estudio desarrollado por Moreno (2010), se examinó cómo influía la inoculación de distintas dosis de bacterias del género *Rhizobium* en el desarrollo y productividad del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.). La investigación contempló un diseño de cuatro grupos experimentales: un testigo (T0) y tres niveles de concentración bacteriana (T1: 7.25×10^9 bacterias/ml; T2: 3.26×10^9 bacterias/ml; T3: 5.00×10^9 bacterias/ml), con 21 réplicas por tratamiento. El ensayo se llevó a cabo bajo condiciones controladas de invernadero utilizando un sustrato estéril a base de humus y cascarilla de arroz. Los hallazgos revelaron variaciones estadísticamente significativas en el diámetro del tallo (DT) y la materia seca radicular (MSR); asimismo, se determinó que la dosis T2 fue la más efectiva para potenciar la acumulación de biomasa en las plantas.

Pérez et al. (2025) llevaron a cabo una investigación para evaluar el efecto del inoculante microbiano de nombre comercial Arveja – Cat (*Azospirillum brasilense*) en diferentes dosis, combinada con tres niveles de fertilización mineral sobre el rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.) de crecimiento indeterminado, variedad San Isidro; junto con niveles crecientes de fertilización mineral con N–P₂O₅–K₂O. El experimento se desarrolló en la Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua, Ecuador. Se evaluaron parámetros agronómicos como altura de planta, peso promedio de vainas y rendimiento. Los datos revelaron que la máxima altura (1,67 m) se logró con 1,5 ml L⁻¹ del inoculante microbiano combinado con 221-0-0 unidades fertilizantes (UF) (D3N1). El mayor peso promedio de vainas (1,80 g) y rendimiento máximo (8719,8 kg ha⁻¹) se obtuvieron con el tratamiento que combinó 1,5 ml L⁻¹ del inoculante microbiano y 404-62-0 UF (D3N3). Estos resultados evidencian que la aplicación estratégica del inoculante microbiano en distintas dosis junto con la fertilización mineral mejora significativamente los procesos fisiológicos, el desarrollo vegetativo y productivo de *Pisum sativum* L.

Hurtado et al. (2019) realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de analizar la relación entre diversas técnicas de aplicación de microorganismos eficientes y la inoculación con *Rhizobium*, enfocándose en el comportamiento morfológico y productivo del frijol común. Este trabajo se realizó en Cuba entre octubre de 2012 y febrero de 2013. Los indicadores evaluados incluyeron el promedio de hojas por planta, la altura de las plantas (cm), el número de legumbres por planta, la cantidad de granos por legumbre, la masa de 100 granos (g/100 semillas) y el rendimiento (t/ha). Finalmente, se concluye que el uso simultáneo de *Rhizobium* y microorganismos eficientes generó un impacto superior en el crecimiento y la producción del frijol común en comparación con otros métodos evaluados.

Lonazco (2022) realizó un trabajo de investigación sobre influencia del uso combinado de *Bradyrhizobium* y *Azospirillum* sobre la productividad del tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*). Mediante un diseño factorial, se analizó el comportamiento de cuatro ecotipos de tarwi frente a cuatro variantes de tratamiento: testigo, nitrógeno químico, e inoculaciones simples y combinadas con *Bradyrhizobium* y *Azospirillum*. Los resultados finales demuestran que la simbiosis bacteriana potencia significativamente el rendimiento del grano seco, aventajando tanto a la fertilización sintética habitual como a las parcelas de control. En particular, el ecotipo 3 inoculado con *Bradyrhizobium* y con *Bradyrhizobium* más *Azospirillum* alcanzaron rendimientos superiores, llegando a 2254.01 y 2216.71 kg·ha⁻¹, respectivamente, mientras que los tratamientos a base de urea y los controles absolutos reportaron cifras menores (1524.26 y 1361.17 kg·ha⁻¹). En términos de eficiencia económica se observó una tendencia similar: la simbiosis del ecotipo 3 con *Bradyrhizobium* demostró ser la más lucrativa, reportando una tasa de rentabilidad del 285.8% y un margen de utilidad equivalente a 6679.02 soles por hectárea. Los estudios coinciden en que la inoculación bacteriana constituye una estrategia eficiente para optimizar la productividad y rentabilidad del cultivo de tarwi en comparación con métodos tradicionales de fertilización.

Ejaza et al. (2020) Evaluaron el impacto de la inoculación mediante cepas bacterianas asociadas a la raíz de *Azospirillum* y *Agrobacterium* en el crecimiento, rendimiento y calidad del guisante (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes niveles de nitrógeno y fósforo. cuyo objetivo fue evaluar si la coinoculación con PGPR, combinada con dosis reducidas de fertilizantes NP (60,65,70,75,80 y 100%), favorece el desarrollo y

producción del cultivo en comparación con la aplicación completa de fertilizante NP sin inoculación. Para ello, se utilizó una mezcla de *Azospirillum* Er20, una cepa capaz de fijar biológicamente nitrógeno, y *Agrobacterium tumefaciens* Ca18, una rizobacteria solubilizadora de fósforo, junto con dosis de fertilización Nitrogenada y Fósforo (N02 y P2O5) entre el 75% y 100% de la recomendada. Los resultados mostraron que la coinoculación al 75% de la dosis recomendada mejoró significativamente parámetros morfoestructurales y productivos (como el número y longitud de vainas, número y peso de semillas, y rendimiento), obteniendo respuestas estadísticamente equivalentes a la fertilización completa (100% NP) sin PGPR. Trabajos previos coinciden en que la aplicación de inoculantes biológicos incrementa la disponibilidad de nutrientes, lo cual es clave para el óptimo desarrollo y vigor de los cultivos.

1.2 Cultivo de arveja

1.2.1 Origen y distribución

La arveja es un cultivo diploide que se ha propagado a nivel global, gracias a su notable diversidad genética. Esta característica ha facilitado su adaptación y crecimiento en diversas regiones y climas del mundo. Su origen se sitúa en una extensa área que abarca desde Asia Central hasta el Cercano Oriente, así como en Etiopía y la región del Mediterráneo.(Suasnabar et al., 2021).

Rodríguez (1998) citado por López (2021), sostiene que la arveja, como se conoce a esta leguminosa, proviene de China. Sin embargo, también existen teorías que sugieren su origen en varias regiones del Mediterráneo, África Oriental y Asia Occidental. Esta planta pertenece a la familia de las leguminosas y a la subespecie de vainas comestibles, conocida científicamente como *Pisum sativum* L.

Con respecto a su distribución geográfica en el Perú, el norte destaca por su producción en los territorios de Cajamarca, La Libertad y Ancash. Asimismo, la zona central abarca jurisdicciones como Tarma, Jauja, Huancayo, Huánuco, Huancavelica y Ayacucho. Finalmente, la presencia de este cultivo en el área sur se concentra en Paucartambo, Paruro y las demarcaciones que integran el departamento de Arequipa. A nivel nacional el rendimiento promedio en vaina verde es de 3.2 t. ha⁻¹ y en grano seco de 0.94 t. ha⁻¹. Ayacucho reporta en promedio 2.38 t. ha⁻¹ de grano verde y 0.95 t. ha⁻¹ en grano seco.

1.2.2 Clasificación taxonómica

Checa et al. (2022) manifiesta que la clasificación taxonómica de la arveja es la siguiente:

Dominio: Eucariota

Reino: Plantae

Phylum: Espermatofita

Subphylum: Angiospermae

Clase: Dicotiledonea

Orden: Fabales

Familia: Leguminosae

Subfamilia: Papilionoideae

Tribu: Viciae

Género: Pisum

Especie: Sativum

Nombre científico: *Pisum sativum* L.

Nombre vulgar: Arveja, Alverja, Guisante,
Chicharo, entre otros.

1.2.3 Fenología del cultivo

Según Camarena (2014) citado por Suasnabar et al. (2021), la fenología de este cultivo se desarrolla en dos etapas:

La fase vegetativa, esta fase comienza cuando la semilla encuentra condiciones adecuadas para germinar y termina con la aparición de los primeros botones florales. Durante este período, se desarrolla la mayor parte de la estructura vegetativa necesaria para la reproducción de la planta. Esta fase incluye las etapas 00 (germinación), 10 (emergencia) y las etapas 20, 30 y 40 (crecimiento de hojas y ramas).

La fase reproductiva, este proceso inicia con la formación de los primeros botones o racimos florales y finaliza cuando la semilla está suficientemente madura para ser cosechada, ya sea en estado de fruto verde o como grano seco.

Los estadios fenológicos correspondientes a las dos etapas fisiológicas de la arveja (*Pisum sativum* L.) son:

a) Germinación

A través de la testa y el micrópilo, la semilla hidrata sus estructuras con rapidez, lo que permite transferir la humedad directamente hacia el embrión y los cotiledones lo que desencadena el proceso de imbibición y consecuente hinchamiento de la semilla. (Checa et al, 2021).

b) Emergencia

Este proceso define el momento en que la pequeña planta rompe la superficie del suelo. Comienza formalmente cuando la radícula se activa y la plúmula prosigue su evolución, abriéndose paso hacia el exterior. (Guerra,1988).

c) Formación de hoja

Villareal (2006) citado por Trujillo (2021) indica que, una vez que la planta ha emergido, la plúmula promueve el brote y desarrollo del par inicial de hojas verdaderas, lo que provoca la abscisión de los cotiledones. A partir del tercer nudo se desarrollan hojas verdaderas compuestas, alternas, con pecíolo y raquis bien definidos.

d) Floración

Según Faiguenbaum (1990) citado por Checa et al. (2021), se observan los pimpollos o botones florales en etapa de formación, los cuales están delimitados por las estípulas y las hojas apicales, presentándose de manera tenue. Transcurridos varios días, los botones se brotan a través de las hojas inmaduras que los cubren, quedando expuestos para luego desencadenar la antesis. Este desarrollo progresa de manera acropétala, desde el primer nudo basal hasta el nudo apical del tallo principal.

e) Fructificación

La corola se marchita y la vaina inicia su elongación, presentándose inicialmente con una estructura aplanada. Posteriormente, comienza el llenado del grano y el engrosamiento de la vaina. Los nudos basales del tallo principal comienzan de forma temprana la floración y fructificación, proceso durante el cual, al alcanzar el grano en estado inmaduro su tamaño característico, ocurre un avance en el desarrollo reproductivo (Trujillo,2021).

f) Maduración

Las vainas alcanzan su llenado completo y las semillas adquieren la coloración característica de la variedad. Las regiones basales de la planta inician el proceso de senescencia, mientras que las partes superiores modifican su pigmentación (Suasnabar et al., 2021).

Las etapas del desarrollo biológico de la arveja para verde varían entre 80 y 110 días, dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas, tiempo necesario para acumular los grados días que permiten su maduración y cosecha. La maduración se da cuando las vainas están llenas, las partes inferiores de las plantas comienzan a marchitarse y cambian su color a amarillo, las partes superiores de las plantas están todavía verdes (Saavedra, 2023).

1.2.4 Importancia del cultivo

Las arvejas, al igual que otras leguminosas, son una fuente significativa de fibra, la cual se clasifica en dos tipos: soluble e insoluble. La fibra soluble ayuda a reducir los niveles altos de colesterol y glucosa en la sangre, mientras que la fibra insoluble favorece el correcto funcionamiento intestinal, previniendo el estreñimiento. Por otra parte, a nivel general, este componente favorece la sensación de plenitud gástrica, lo que mitiga las ganas de comer y aporta un beneficio significativo en las estrategias de control y reducción de peso (Suasnabar et al., 2021).

1.2.5 Valor nutricional

En su forma natural, la arveja presenta un alto contenido de tiamina (vitamina B1), proteínas, carbohidratos y fibra, además de ser baja en grasas. También proporciona vitaminas A, B y C. La fibra dietética que contiene mejora la función digestiva, ayuda a eliminar grasas saturadas y contribuye a la prevención del cáncer de colon (De Bernardi, 2017).

De acuerdo a Infoagro (2008) citado por Suasnabar et al. (2021), los guisantes frescos destacan por su excelente aporte mineral, siendo especialmente ricos en fósforo y hierro. Asimismo, son una magnífica fuente de vitamina B1 (tiamina) y fibra dietética. Su perfil nutricional se complementa con una cantidad significativa de azúcares naturales y aminoácidos esenciales, destacando la presencia de lisina.

El perfil nutricional de la arveja correspondiente a 100 g de porción comestible es el siguiente:

Tabla 1.1

El valor nutricional y aportes de la arveja.

Contenido nutricional por cada 100 g	
Carbohidratos	13,8 g
Grasas	0,4 g
Proteínas	5,9 g
Agua	73%
Fibra	0,8 g
Ceniza	2,5 g
Tiamina	0,35 mg
Riboflavina	0,14 mg
Niacina	2,9 mg
Ácido ascórbico	27 mg
Vitamina A	640 UI
Calcio	26 g
Hierro	1,8 mg
Fosforo	96 mg
Potasio	139 mg
Sodio	2 mg
Valor energético	84 calorías

Fuente: Infoagro (2008)

1.2.6 Condiciones ambientales

Un clima templado y con humedad controlada es vital para el éxito de la plantación. La clave para una germinación y evolución óptimas radica en estabilizar la temperatura entre 15 °C y 18 °C, junto a una humedad relativa media que no exceda el 80 %. Cumplir con estos requisitos asegura a los cultivadores una productividad sobresaliente. (Flores, 2009).

1.2.7 Variedades

Según Suasnabar et al. (2021), las variedades comerciales que habitualmente se producen en las regiones de la Costa y la Sierra son:

Remate INIA 103, se cultiva entre 1,600 y 3,300 metros sobre el nivel del mar, en climas con temperaturas de 15 a 18 °C y suelos franco arenosos. Mediante los métodos de chorro continuo y a golpes, se efectúa la siembra utilizando una densidad de población de 70 kg/ha, entre septiembre y diciembre. La planta tiene un crecimiento indeterminado semiprostrado, con un hábito de enrame medio que permite el tutoraje en espaldera. La fertilización recomendada es de 40-80-60 (N-P-K).

Tabla 1.2

Características del cultivo de arveja variedad Remate.

Características del cultivo	
Porte de la planta	: 1.55 m
Longitud de la vaina	: 7 a 8 cm
Cosecha en grano seco	: 150 días
Cosecha en grano verde	: 110 días
Días de floración	: 80 días
Nº de vainas por planta	: 23
Nº de granos por vaina	: 8
Color de grano seco	: crema
Tamaño de grano	: 7 mm
Superficie del grano	: liso, Redondo
Rendimiento promedio	
Vaina verde con tutor	: 10 t/ha
Vaina verde sin tutor	: 6500 kg/ha
Grano seco con tutor	: 2000 kg/ha
Grano seco sin tutor	: 1600 kg/ha

Nota, Suasnabar et al. (2021).

Alderman, es la variedad americana que se cultiva en un rango altitudinal de 1,800 a 3,350 msnm, con una densidad de siembra establecida en 60 kg/ha, y un calendario de siembra, comprendido entre mayo y agosto. La fertilización recomendada es de 60-80-60 (N-P-K), aplicándose técnicas de siembra mediante golpes y chorro continuo. Presenta un hábito de crecimiento indeterminado o decumbente, con porte semiprostrado, requiriendo sistemas de tutorado debido a su altura que puede alcanzar hasta dos metros. Su ciclo vegetativo es semitardío y es altamente valorada por los productores por la dimensión y calidad de sus vainas.

Rondo, esta variedad presenta un crecimiento determinado y está adaptada a condiciones climáticas frescas y templadas. Es sensible a temperaturas elevadas y no tolera heladas ni suelos con alta salinidad. Se desarrolla en altitudes comprendidas entre 1,300 y 3,200 msnm, con temperaturas promedio de 15 a 16 °C. La cantidad de semilla sugerida para el cultivo es de 70 a 80 kg/ha, con una fertilización balanceada de 80-100-80 (N-P-K). El ciclo vegetativo oscila entre 2.5 y 4.5 meses. El espaciamiento utilizado es de 0.75 m entre surcos y 0.40 m entre plantas. La ventana óptima para la siembra se sitúa entre mayo y agosto.

Usui, se caracteriza por presentar un hilum negro en sus semillas. Exhibe una amplia adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas, alto potencial productivo y resistencia a múltiples fitopatologías. Es especialmente valorada para la cosecha en estado de grano verde. Las principales zonas de producción incluyen la Sierra (Cajamarca, La Libertad, Junín) y la Costa (Lambayeque, La Libertad, Áncash y Lima), abarcando un rango altitudinal de 0 a 2,600 msnm (MINAGRI, 2016).

Tabla 1.3

Características morfológicas del grano de arveja variedad Usui.

Características del grano	
Color de grano	: Crema opaca
Forma	: Esférica de textura lisa
Tamaño	: Grande, 100 semillas pesan 30 a 35 gr
Calibre	: 285 a 333 semillas en 100 gramos

Nota: MINAGRI, (2016).

Crema rugosa, este cultivar de arveja está orientado a la cosecha en grano verde, con semillas grandes y atractivas en estado inmaduro, pero rugosas y poco comerciales en seco. Los cultivares RONDO y UTRILLO son los más comunes, adaptados a las principales zonas agroecológicas de la sierra (MINAGRI, 2016).

Tabla 1.4

Características morfológicas del grano de arveja variedad Crema rugosa.

Características del grano	
Color de grano	: Crema opaca
Forma	: Esférica de textura gruesa
Tamaño	: Mediano, 100 semillas pesan 25-35 gr
Calibre	: 333 a 400 semillas en 100 gr

Nota: MINAGRI, (2016).

1.2.8 Morfología de la arveja

Raíz. Campos (1992) sostiene que, por lo general, estas plantas poseen un sistema de raíces limitado, a pesar de que su raíz central o pivotante logra descender entre 80 y 100 cm en el sustrato. Por otro lado, la presencia de nódulos es más abundante en una capa superficial de 10 a 30 cm, aprovechando las óptimas condiciones de aireación de la zona. Dado que la colonización de *Rhizobium* se genera por medio de los pelos radiculares, la aparición de estas estructuras simbióticas depende estrictamente de la expansión y proliferación del sistema radical.

Tallo. La planta desarrolla un eje central o tallo principal, del cual pueden surgir tallos secundarios que se originan en el nudo cotiledonar o en los nudos superiores. La cantidad de tallos secundarios (ramas) que puede formar una planta depende principalmente de factores genéticos, la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua y la densidad de población. En general, los tallos presentan una coloración verde o glauca, tienen una sección angular, son huecos y carecen de vello; son delgados en la base y se vuelven progresivamente más horribles hacia la parte superior (Suasnabar et al., 2021).

Hoja. Las hojas de la arveja son alternas y compuestas, con una disposición paripinada que presenta de 1 a 3 pares de folíolos, finalizando en un zarcillo. También hay genotipos de arveja cuyas hojas compuestas no terminan en zarcillos. Además, cuenta con estípulas que pueden alcanzar hasta 10 cm de longitud, las cuales suelen ser más grandes que los folíolos (Checa et al., 2021).

Flor. Las flores son hermafroditas y pertenecen a la subfamilia Papilionoideae, presentando un color blanco con una quilla de tonalidad blanco verdosa. El tubo del cáliz

es oblicuo y está compuesto por cinco sépalos que se unen en la base. Cada flor cuenta con diez estambres diadelfos, de los cuales nueve están fusionados formando el tubo estaminal y uno permanece libre. En la arveja, se observa el fenómeno de la cleistogamia, donde la flor se autofecunda antes de abrirse (Checa et al., 2021).

Fruto. El fruto es una legumbre o vaina de forma y dimensiones variables y de semillas globulosas o cúbicas, lisas o rugosas, pudiendo contener cada vaina entre 4 y 12 semillas. La mayor parte de sus variedades presentan en la cara interna de sus valvas una formación tisular esclerenquimatosa o pergamino que está ausente o aminorada en las variedades tirabeques o cometido (Maroto,2000).

Semilla. Checa et al. (2021), indican que la semilla puede presentar diversas formas, que van desde redondas y ovaladas hasta una tendencia cuadrada. Según su textura, puede ser generalmente lisa o rugosa. Las semillas lisas tienden a tener un alto contenido de hidratos de carbono, mientras que las rugosas contienen mayores cantidades de glucosa y dextrina.

1.2.9 Requerimiento nutricional

Según el Instituto de Innovación Agraria (INIA, 2024), se sugiere agregar 10 toneladas por hectárea de materia orgánica durante la preparación del terreno para mejorar la calidad del suelo. La dosificación de los abonos se establece con base en un análisis químico previo a la siembra, el cual permite sugerir los niveles óptimos de aplicación. Las necesidades nutricionales específicas del cultivo se detallan en la tabla adjunto.

Tabla 1.5

El requerimiento nutricional de la arveja.

Nutrientes	Kg/ha
Nitrógeno (N)	40
Fosforo (P ₂ O ₅)	80
Potasio (K ₂ O)	60

Nota: INIA (2024).

1.2.10 Principales plagas

Los daños causados por plagas y enfermedades afectan el crecimiento y reducen el rendimiento de la arveja. Además, pueden dejar marcas en los frutos, comprometiendo su calidad. Para obtener frutos de alta calidad, es fundamental implementar un control preventivo de plagas y enfermedades (Briones, 2016).

Según Checa et al. (2021), las plagas que afecta en la producción de la arveja o guisante, son las siguientes:

a) Mosca de las semillas (*Delia platura*)

Las larvas de esta mosca atacan las semillas de arveja desde el momento de la siembra, causando perforaciones en los cotiledones y provocando la muerte del embrión, lo que afecta la germinación y reduce la población de plantas en el cultivo. Estas larvas también pueden atacar plantas que ya han germinado y aquellas recién emergidas, afectando el brote terminal o perforando los tallitos incipientes, lo que resulta en su marchitamiento. Para prevenir daños causados por las larvas de la mosca (*Delia platura*), se recomienda evitar el uso de materia orgánica sin compostar y realizar el surcado del suelo uno o dos días antes (Checa et al., 2021).

b) Pulgón verde (*Brevicoryne brassicae* y *Myzus persicae*)

Los insectos tienen un cuerpo blando y forma globosa, se alimentan succionando savia, provocando encrespamiento, amarillamiento y muerte de las plantas. Además, favorecen la aparición del hongo Fumagina (*Capnodium sp.*) al consumir secreciones azucaradas y actúan como vectores de virus, como el mosaico de la arveja. Su población aumenta durante períodos secos, formando colonias gregarias en las plantas. (Checa et al., 2021).

c) Trips (*Thrips palmi*)

Son pequeños insectos chupadores de color marrón, alargados y que miden entre 1 y 2 mm. Son más abundantes durante las épocas secas y se encuentran principalmente dentro de la flor o sobre los frutos en formación. Causan daño al raspar el tejido para romperlo y luego succionar el líquido que emana de la herida, lo que puede llevar a la caída de las flores y vainas o a su deformación (Checa et al., 2021).

1.2.11 Principales enfermedades

a) Marchitamientos vasculares

El marchitamiento inicia con amarillamiento en las hojas basales y progresa hacia arriba, comenzando como marchitez temporal que empeora hasta causar la muerte de la planta. En el caso de la arveja, este problema es causado por el *Fusarium oxysporum f. sp. Pisi* (Suasnabar et al., 2021).

b) Oidium o cenicilla

La *oidiosis* aparece en condiciones de costa y sierra, manifestándose con alta severidad entre las etapas de fructificación y senescencia del cultivo. Es provocado por el hongo *Erysiphe polygoni*, que se desarrolla en la superficie del huésped. Presenta un micelio escaso, compuesto por conidias (*oidias*) con forma de barril. Los cleistotecios globosos rara vez se forman; Sin embargo, cuando ocurren, pueden aparecer tanto agrupados como dispersos. (Suasnabar et al., 2021).

c) Antracnosis

Es la más destructiva, causa la muerte de los tallos en la parte basal de la planta, el agente causal es *Colletotrichum pisi* considerado como un hongo imperfecto.

Los síntomas son manchas grandes o pequeñas de coloración oscura, lesiones ligeramente hundidas, que se presenta en las hojas, tallos y frutos. En la parte foliar se presentan lesiones irregulares de un color ladrillo, causando la muerte de la planta (Suasnabar et al., 2021).

1.2.12 Manejo agronómico

Con el propósito de garantizar una gestión eficiente de la plantación, SENASA (2020) señala que es fundamental considerar las siguientes labores:

Selección del terreno, se debe tener en cuenta los requerimientos que el cultivo requiere como el agua, tipo de suelo y el clima, los ambientes húmedos son condiciones favorables para que las enfermedades aparezcan, en cuanto a la temperatura óptima para la buena calidad del producto cosechado oscila entre los 15 y 18 °C, para el buen desarrollo de las plantas favorecen suelos con textura suelta, profundos y con buen drenaje, pH de 5.5 y 6.7 (SENASA, 2020).

Acondicionamiento del suelo: Se lleva a cabo la remoción de residuos vegetales y rastrojos de los ciclos de cultivo previos, oh incorpora al suelo con anticipación para que se descomponga en su totalidad (SENASA, 2020).

Rotación de cultivos, esta actividad permite reducir la incidencia de plagas y enfermedades, como también se logra mejorar la calidad y su mejor distribución de los nutrientes en los estratos del suelo (SENASA, 2020).

Semilla, es uno de los parámetros del cual depende el éxito de la cosecha, por ende, la semilla de buena calidad debe cumplir ciertos requisitos como: pureza física, calidad fitosanitaria, calidad genética y calidad fisiológica para garantizar la viabilidad y rendimiento del cultivo (SENASA, 2020).

Labores de siembra, esta labor se cumple ciertos parámetros técnicos en cuanto a la época de siembra en la sierra se realiza en el mes de octubre a enero para grano verde, densidad de siembra 60 – 70 kg/ha y el sistema de surcos dependen del tipo de crecimiento si es arbustiva se utiliza surcos mellizos o simples; mientras para postradas en surcos simples (SENASA, 2020).

Abonamiento, se sugiere incorporar 10 t/ha de materia orgánica durante la preparación del suelo, con el objetivo de optimizar sus propiedades.

Según los parámetros del INIA (2004), la relación de fertilización aconsejada es de 40 - 80 - 60 (N, P₂O₅, K₂O/ ha).

Tutorado, esta actividad permite que los rendimientos sean mayores y de buena calidad, así mismo permite realizar el control eficiente de plagas y enfermedades (SENASA, 2020).

Control de maleza, Esta actividad combina el control cultural y químico. Se recomienda mantener el cultivo libre de malezas durante los primeros 45 días pos-emergencia para evitar la fuerte competencia por nutrientes (SENASA, 2020).

Aporque, al realizar el aporque, se profundiza el surco, facilitando así la distribución del agua y su evacuación. Este método es aconsejable para estimular el desarrollo radicular, mejorar la estabilidad de la planta y prevenir que el líquido golpee de forma directa la zona del cuello (SENASA, 2020).

Riego, es fundamental conservar una humedad óptima en el suelo para garantizar una germinación exitosa, el establecimiento adecuado y el crecimiento apropiado de las plantas. ya que sequías o excesos de agua pueden causar pudrición radicular (INIA, 2004).

Cosecha, Las vainas para el consumo en verde se cosechan manualmente, proceso que se inicia a los 110 días posteriores a la siembra (INIA, 2004).

1.3 Rhizobium

1.3.1 Definición

Según Abd – Alla et al. (2012), citado por López (2017), las bacterias pertenecientes a *Rhizobium* son bastoncillos móviles que cuentan con una estructura de pared celular y de uno a seis flagelos para su locomoción. Además, este grupo se clasifica dentro de los organismos Gram negativos. Son organismos aerobios con un tamaño que varía entre 0.5-0.9 μm de ancho y 1.2-3.0 μm de largo, y sus flagelos pueden estar distribuidos de manera peritrica o subpolar.

Ramirez et al. (2016), de acuerdo a la historia de la investigación en cuanto a la simbiosis leguminosa – bacteria narra que, en 1888, Hellriegel y Wilfarth establecieron de manera experimental que las leguminosas pueden realizar la asimilación de N_2 mediante una simbiosis específica con bacterias rizobiales que inducen la formación de nódulos radiculares. Demostraron que, a diferencia de las gramíneas cuyo crecimiento está limitado por la disponibilidad de nitrógeno asimilable en el suelo, las leguminosas acceden a la fuente de nitrógeno atmosférico. En 1890, se aislaron bacterias de nódulos de *Vicia faba* para inocular plantas, confirmando la fijación biológica de nitrógeno. Inicialmente llamadas *Bacillus radicola*, Frank las reclasificó en 1889 como *Rhizobium leguminosarum*, nombre actual de la especie tipo del género *Rhizobium*.

1.3.2 Importancia

Las bacterias del género *Rhizobium*, así como otros diazótrofos, poseen la capacidad de fijar el nitrógeno molecular (N₂), transformándolo en una forma que las plantas pueden asimilar. Estas bacterias juegan un papel crucial en diversos ecosistemas que enfrentan condiciones adversas como sequías, suelos con baja fertilidad y bajos niveles de producción agrícola. Comprender cómo se distribuye, se identifica y opera la variedad de microorganismos es clave para mejorar las prácticas de cultivo y potenciar el rendimiento de la producción agraria (Guzmán et al., 2021).

1.3.3 Taxonomía

Según Thorsten (2002) citado en Chaupin (2024), el género *Rhizobium* se organiza bajo el siguiente esquema taxonómico:

Dominio: Bacteria

Filo: Proteobacteria

Clase: Alphaproteobacteria

Orden: Rhizobiales

Sub Orden: Eubacterineas

Familia: Rhizobiaceae

Género: *Rhizobium*

Especie: *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*.

1.3.4 Simbiosis leguminosas – *Rhizobium*

Según Roy et al. (2020) citado en Mendoza (2025), los bajos niveles de nitrógeno son esenciales para que las leguminosas establezcan simbiosis con rizobios. Bajo esta condición, las leguminosas liberan flavonas en la rizósfera, las cuales son reconocidas por rizobios compatibles. A su vez, los rizobios responden produciendo lipoquitoligosacáridos llamados Factores de Nodulación (FN).

1.3.5 Fijación de nitrógeno

La fijación de nitrógeno se lleva a cabo gracias a una relación simbiótica entre la planta y ciertas bacterias pertenecientes a la familia Rhizobiaceae, las cuales infectan las raíces y forman nódulos. Estas bacterias entregan el nitrógeno fijado a la planta, mientras que esta última les proporciona a los nódulos los carbohidratos que les suministran la energía necesaria para que el proceso de fijación pueda realizarse (Rodiño et al., 2004).

La fijación biológica del nitrógeno es realizada por la enzima nitrogenasa, que consiste de dos proteínas: la dinitrogenasa reductasa (proteína del hierro) y la dinitrogenasa (proteína MoFe). El cofactor MoFe es fundamental para la función de la dinitrogenasa. Estas dos proteínas trabajan en conjunto, donde la dinitrogenasa reductasa activa a la dinitrogenasa, la cual finalmente convierte el nitrógeno en una forma utilizable. Ambas son esenciales para que la fijación ocurra (Caffa et al., 2006).

1.4 Azospirillum

1.4.1 Definición

Las bacterias del género *Azospirillum* habitan en los suelos de todo el mundo y funcionan como un estimulante natural para el desarrollo de las plantas. Cuando estas bacterias se vinculan con las raíces de las plantas, contribuyen a una mejor producción y productividad de los cultivos al promover el desarrollo tanto de la parte aérea como del sistema radicular. Estos efectos positivos son resultado de la liberación de fitonutrientes de crecimiento, en particular las auxinas (Fernández et al., 2020).

Fukami et al. (2018), indican que el género *Spirillum* fue descrito inicialmente por Martinus Willem Beijerinck en 1925. Posteriormente, en la década de 1970, la Dra. Johana Döbereiner identificó y reportó la capacidad de esta bacteria para realizar la fijación biológica de nitrógeno atmosférico (N₂) en estudios llevados a cabo en Brasil.

Leyva (2006), señala que la especie *Azospirillum brasilense* fue aislada y caracterizada por Tarrand y sus colaboradores en 1979 en Brasil, de donde proviene su nombre de la especie. así mismo menciona que es un bacilo curvado de alrededor de 1 µm de ancho y 2-3 µm de longitud, clasificada como Gram-negativa y habitualmente encontrada en el suelo, ya sea en vida libre o en asociación rizosférica de especies vegetales.

1.4.2 Principales características

Los microbios pertenecientes al género *Azospirillum* se caracterizan por ser bacilos Gram-negativos de vida independiente y motilidad dinámica. Morfológicamente, presentan un diámetro de entre 0.8 y 2 µm, un largo de 2 a 4 µm, y se distinguen por almacenar reservas internas de poli-hidroxibutirato en forma de gránulos (Fernández et al., 2020).

Se caracteriza por su forma de varilla o bacilo, es una gram negativa y presenta un movimiento vibratorio característico junto con un patrón flagelar mixto. Sus dimensiones son aproximadamente de 0.8-1 μm de ancho y 2-4 μm de largo. Además, estas bacterias son capaces de fijar nitrógeno atmosférico (N_2) (Uceda et al., 2020).

1.4.3 Modo de acción

Fernández et al. (2020) señalan que las bacterias del grupo *Azospirillum* spp. operan mediante distintos modos de acción, tales como:

La producción de reguladores vegetales es un mecanismo clave que modifica el crecimiento y la morfología de las raíces, optimizando el uso del suelo y contribuyendo a la reducción del nitrato asimilable disponible y de la fijación biológica de nitrógeno (FBN).

Otra forma en que actúa el *A. brasilense* es mediante la disminución del nitrato (NO_3^-) en las raíces, lo que favorece el crecimiento de las plantas al reducir el consumo de energía necesario para convertir el nitrato en amoníaco. El incremento del sistema radical es otro mecanismo que permite aumentar la absorción de minerales y agua, debido a la producción de hormonas como la auxina, específicamente el ácido 3-indolacético (AIA), que promueven el crecimiento radical.

1.4.4 Funciones

La inoculación en las plantas conlleva un incremento notable en el desarrollo de las raíces, mejora la resistencia frente a agentes patógenos, incrementa la disponibilidad de elementos esenciales para la vida vegetal, como el nitrógeno, impide la proliferación de plantas parásitas y genera hormonas que favorecen el crecimiento de las plantas. Una de las fitohormonas más importantes sintetizadas por *A. brasilense* es el ácido 3-indolacético (AIA), una auxina que regula múltiples procesos fisiológicos en las plantas (Uceda et al., 2020).

1.5 La Rizobacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR)

Los PGPR son bacterias procariotas ubicadas en la rizósfera que desempeñan funciones clave en la promoción del crecimiento y desarrollo vegetal. Estas bacterias actúan mediante la fijación biológica de nitrógeno, solubilización de minerales,

producción de fitohormonas y mecanismos de biocontrol que inhiben patógenos del suelo. La interacción simbiótica beneficiosa entre estas bacterias y las plantas se denomina mutualismo, favoreciendo tanto la salud como la productividad de los cultivos.

Se caracterizan por su alta densidad poblacional en la rizosfera tras la inoculación, su capacidad para colonizar eficazmente la superficie radicular y su influencia positiva en el desarrollo vegetal. Además, estas bacterias poseen mecanismos naturales y eficientes de control frente a patógenos que afectan a las plantas, contribuyendo a la salud y protección de los cultivos. (Hernández et al., 2003)

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Estación Experimental Agraria Canaán - INIA, ubicada a una altitud de 2750 m s. n. m. en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray (Huamanga, Ayacucho). Asimismo, la fase analítica se desarrolló en el laboratorio AD - 206 del proyecto UNSCH – FOCAM, adscrito a la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en el distrito de Ayacucho. Toda la investigación se circunscribió geográficamente entre las coordenadas 13° 10' 05" Latitud Sur y 74° 12' 14" Longitud Oeste.

2.1.1. Ubicación política

Lugar	: Estación Experimental Agraria Canaán – INIA
Distrito	: Andrés Avelino Cáceres Dorregaray
Provincia	: Huamanga
Departamento	: Ayacucho

2.1.2. Ubicación geográfica

Latitud Sur	: 13° 10' 05" S
Longitud Oeste	: 74° 12' 14" O
Altitud	: 2750 msnm

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Materiales biológicos y vegetal

- Semillas de arveja (variedad Remate)
- Inoculante a base de bacterias *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*
- Inoculante a base de bacterias *Azospirillum brasilense*

2.2.2. *Materiales*

- Desinfectantes
- Bandejas germinadoras
- Herramientas y equipos agrícolas
- Cámara digital
- Libreta de campo
- Regla
- Flexómetro
- Estacas
- Carrizo
- Bolígrafo
- Rafia
- Bolsas de plástico

2.2.3. *Equipos*

- Estufa
- Balanza digital

2.3. **Problemas específicos**

1. ¿Cómo la inoculación individual de semillas y la co-inoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* influirá sobre la capacidad simbiótica de la arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate?
2. ¿En qué medida la inoculación individual de semillas y la co-inoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* influirá en el rendimiento de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate?
3. ¿En qué medida la inoculación individual de semillas y la co-inoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* influirá en la calidad de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate?
4. ¿En qué medida influirá la inoculación individual de semillas y la co-inoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* influirá en la rentabilidad de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate?

2.4. Metodología

2.4.1. Antecedentes del campo experimental

Previo al desarrollo del estudio, el área experimental se destinó a la producción de maíz comercial, sin propósitos científicos.

2.4.2. Características físicas y químicas del suelo

Con el propósito de evaluar las propiedades físico-químicas del sustrato, se procedió con la recolección de muestras de suelo, con el método de zig zag, tomando un total de 20 sub muestras, la profundidad del muestreo es 25 cm, mediante el cuarteo se obtuvo una muestra de 1 kg de suelo, la que se envió al laboratorio de LABSAF – Canaán - INIA para su respectivo análisis.

Tabla 2.1

Resultados del análisis físico – químico del suelo EEA – Canaán.

	Componentes	Contenido	Interpretación
Químicos	Materia orgánica (%)	1.24	Pobre
	N total (%)	0.06	Pobre
	P total (ppm)	12.41	Bajo
	K disponible (ppm)	610.33	Muy alto
	pH	7.8	Ligeramente alcalino
	C.E. (dSm-1)	12.7	Moderadamente salino
	CIC	11.14	Bajo
Físicos	Arena (%)	42.56	
	Limo (%)	24	
	Arcilla (%)	33.44	Franco Arcilloso
	Clase textural		

Nota: Laboratorio de suelos LABSAF – CANAÁN – INIA.

El ensayo se estableció en un terreno de topografía llana, con una pendiente del 2% y un drenaje moderado, caracterizado por una capa arable de excelente profundidad. Los análisis edáficos revelaron una textura franco-arcillosa y una salinidad moderada. Respecto a sus propiedades químicas, el suelo exhibe un pH ligeramente alcalino (pH = 7.8) y un contenido deficiente de materia orgánica (1.24%). En cuanto a los macronutrientes, los niveles de nitrógeno total (0.06%) y fósforo disponible (12.41 ppm) son bajos, en contraste con el potasio disponible (610.33 ppm), que se encuentra en un

rango muy alto. Finalmente, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se sitúa en un nivel bajo con un valor de 11.14 meq/100g.

2.5. Características climatológicas

Los parámetros climatológicos empleados en el balance hídrico provienen de la Estación Meteorológica Canaán (INIA), ubicada en el distrito Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. El punto de registro se emplaza a una altitud de 2735 msnm, con una ubicación geográfica de 13° 10' 0.06" S y 74° 12' 22.92" O.

La tabla 2.2 ilustra los registros térmicos promedio mensuales máximas, mínimas y medias con valores de 25.27°C, 10.08°C y 17.68°C respectivamente. Los meses con temperaturas más elevadas correspondieron a agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2024. Por otro lado, los meses con las temperaturas más bajas fueron abril, mayo, junio, julio y agosto del mismo año. La precipitación acumulada total alcanzó los 517.0 mm, destacándose los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre de 2024 como los períodos con mayor aporte pluviométrico, mientras que el resto del año presentó precipitaciones escasas.

Durante el ciclo fenológico del cultivo, comprendido entre enero y mayo de 2024, se registraron temperaturas máximas, mínimas y medias de 26.1°C, 9.3°C y 17.7°C, respectivamente. Asimismo, se registraron precipitaciones mensuales de 80.1 mm, 97.8 mm, 99.6 mm, 21.0 mm y 43.3 mm, respectivamente, correspondientes a los meses del periodo analizado.

De acuerdo con el balance hídrico ilustrado en la Figura 2.2, el periodo de humedad se concentró en los meses de enero a marzo, así como en noviembre y diciembre de 2024. Por el contrario, se observó una escasez hídrica continua durante el lapso comprendido entre abril y octubre de ese mismo año.

Tabla 2.2

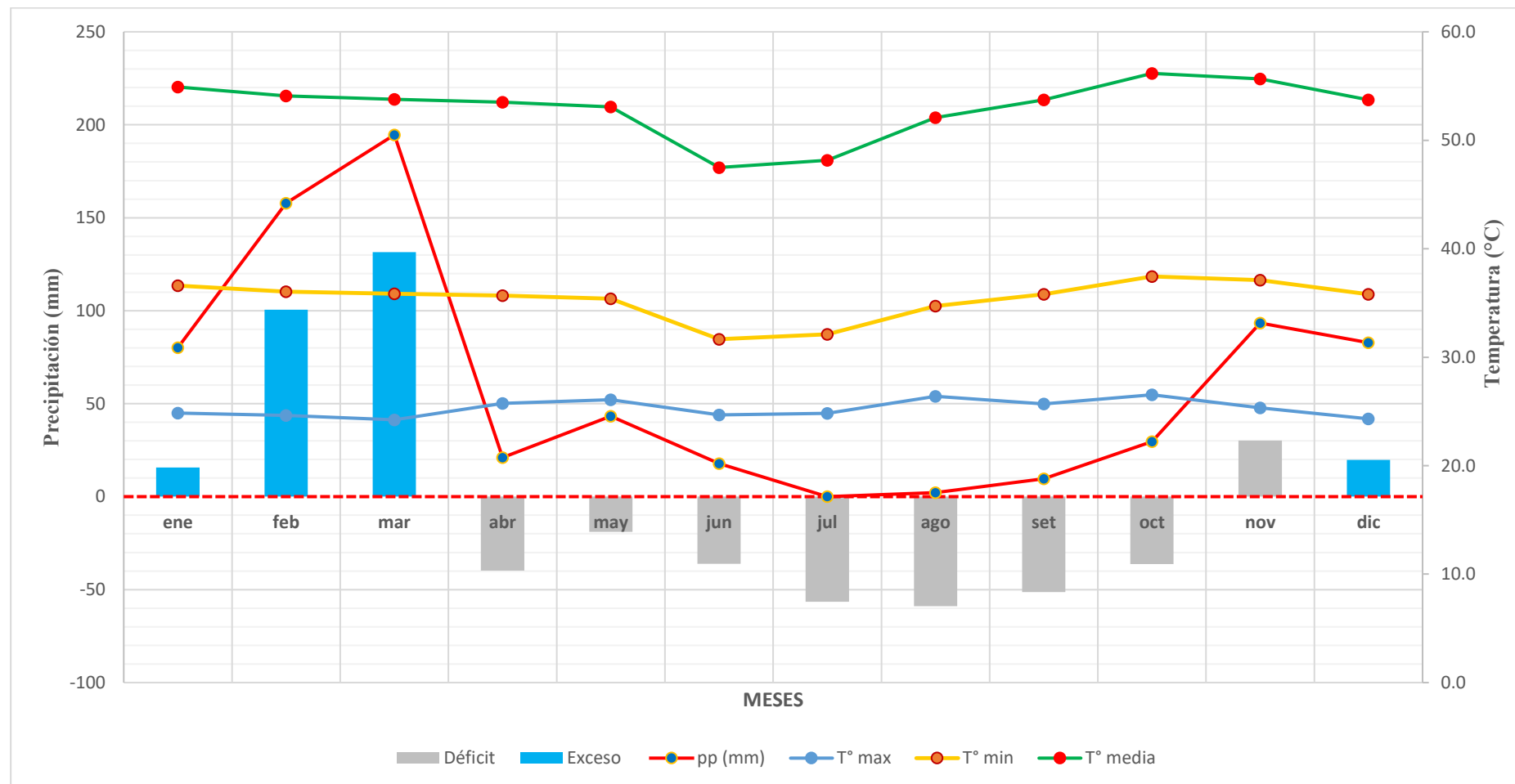
Temperatura Máxima, Mínima, Media y Balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2024 de la Estación Meteorológica Canaán del Instituto Nacional Innovación Agraria INIA – Ayacucho.

Departamento : Ayacucho **Latitud** : 13° 10' 0.06" S
Provincia : Huamanga **Longitud** : 74° 12' 22.92" W
Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray **Altitud** : 2735

AÑO		2024												Total	Prom
DESCRIPCIÓN	UNID	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
Días		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
T° máx. Media mensual	°C	24.8	24.6	24.2	25.7	26.1	24.7	24.8	26.4	25.7	26.5	25.3	24.3		25.27
T° mín. Media mensual	°C	11.8	11.4	11.6	9.9	9.3	7.0	7.3	8.3	10.1	10.9	11.8	11.5		10.08
T° media mensual	°C	18.3	18.0	17.9	17.8	17.7	15.8	16.1	17.4	17.9	18.7	18.6	17.9		17.68
Factor de multiplicación		4.96	4.48	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96		
ETP	mm	90.79	80.76	88.90	85.62	87.76	75.98	79.62	86.11	85.95	92.86	89.07	88.82	1032.24	158.81
Precipitación	mm	80.1	91.8	94.6	21.0	43.3	17.8	0.0	2.1	9.6	29.6	93.3	82.8	483.2	47.16
ETP ajustado	mm	64.38	57.27	63.04	60.71	62.23	53.88	56.46	61.07	60.95	65.85	63.16	62.98		
Humedad del suelo	mm	15.72	100.53	131.56	-39.71	-18.93	-36.08	-56.46	-58.97	-51.35	-36.25	30.14	19.82		
Exceso	mm	15.72	100.53	131.56									19.82		
Déficit	mm				-39.71	-18.93	-36.08	-56.46	-58.97	-51.35	-36.25	30.14			

Figura 2.1

Temperatura Máxima, Mínima, Media y Balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2024 de la Estación Meteorológica Canaán del Instituto Nacional Innovación Agraria INIA – Ayacucho.



2.6. Microorganismos en estudio

- *Rhizobium leguminosarum biovar viciae*
- *Azospirillum brasilense*

2.7. Factores del estudio

Los factores considerados este trabajo comprenden:

2.7.1. Variedad de arveja (V)

- V1: Remate

2.7.2. Inoculante y fertilización (A)

- A1: Inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* soporte a base de turba.
- A2: Inoculación con *A. brasilense* en formulación líquida.
- A3: Co-inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*
- A4: Sin inoculante con fertilización nitrogenada – urea (Testigo positivo)
- A5: Sin inoculante sin fertilización nitrogenada – (Testigo absoluto)

2.8. Tratamientos

Los tratamientos ha sido el resultado de la combinación de los factores como la variedad de arveja (V) e inoculaciones e interacciones de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* (A), testigo positivo (N: Urea) y testigo absoluto (solo cultivo).

Tabla 2.3

Los tratamientos empleados en el trabajo de investigación.

Tratamiento	Combinación	Descripción
T1	V1*A1	Variedad Remate con inoculante de <i>R. leguminosarum biovar viciae</i>
T2	V1*A2	Variedad Remate con inoculante de <i>A. brasilense</i>
T3	V1*A3	Variedad Remate con inoculante de <i>R. leguminosarum biovar viciae</i> + <i>A. brasilense</i>
T4	V1*A4	Variedad Remate con N - Urea (Testigo positivo)
T5	V1*A5	Variedad Remate solo (Testigo absoluto)

2.9. Diseño experimental

El análisis de los datos se registrará bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). El comportamiento de las variables se explicará mediante el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ij} = u + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable respuesta al i -ésimo tratamiento dentro del j -ésimo bloque.

u : Media general o promedio teórico de la población en estudio.

T_i : Efecto atribuible al i -ésimo tratamiento.

B_j : Efecto asociado al j -ésimo bloque o factor de control local.

E_{ij} : Error experimental aleatorio remanente en la unidad del i -ésimo tratamiento y j -ésimo bloque.

Subíndices y dimensiones:

$i = 1, 2, 3, 4$ (representando los cuatro tratamientos evaluados).

$j = 1, 2, 3$ (representando las tres réplicas o bloques conformados).

2.10. Características del campo experimental

a) Parcelas

- Ancho: 4.6 m
- Largo: 6 m
- Área: 27.6 m²
- N° de surcos: 06

b) Bloques

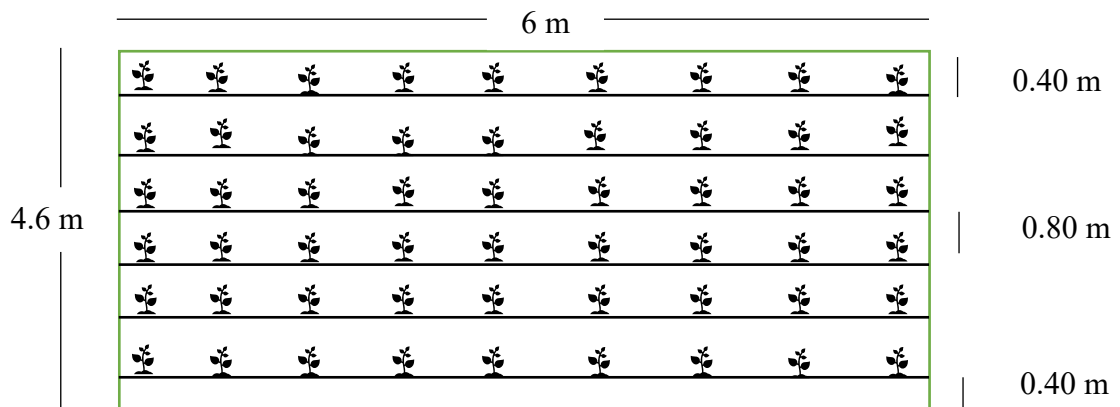
- N° de bloques: 04
- Largo de bloques: 26.4 m
- Ancho de bloques: 6 m
- Área de bloque: 158.4 m²

c) Campo experimental

- Largo: 26.4 m
- Ancho: 6 m
- Área total de unidades experimentales: 552 m²
- Área total del experimento: 792 m²

Figura 2.2

Croquis de la unidad experimental (metros).

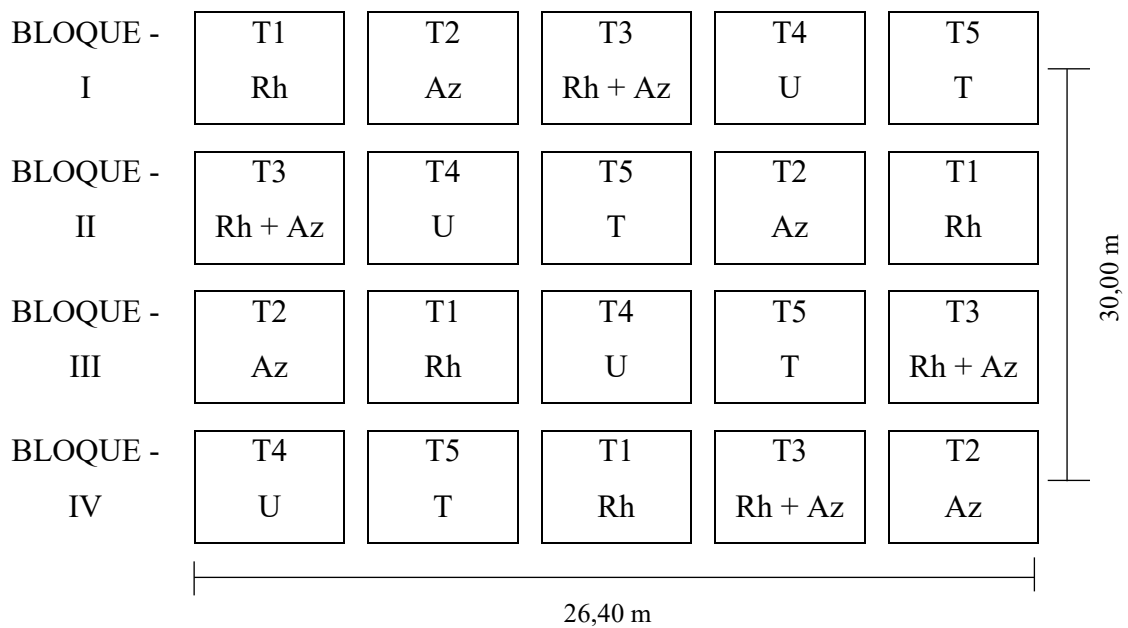


2.11. Croquis del campo experimental

El diseño experimental se organiza en cuatro bloques, cada uno de los cuales contiene 5 tratamientos, sumando un total de 20 unidades experimentales. Los tratamientos se distribuyeron de manera aleatoria dentro de cada uno de los cuatro bloques, tal como se ilustra en la figura.

Figura 2.3

Croquis de la parcela experimental (m).



2.12. Variables dependientes evaluadas

Para analizar las variables, se llevó a cabo un muestreo de 12 golpes (equivalentes a 16 plantas) que representaban las características promedio de cada unidad experimental. Estas muestras fueron etiquetados con números y trasladados al laboratorio con el fin de determinar las variables que se detallan a continuación:

2.12.1. Variables de capacidad simbiótica

Para evaluar la respuesta a la inoculación y el desarrollo de la simbiosis, se recolectaron muestras de 16 plantas por cada parcela experimental durante la etapa de inicio de floración (64 días).

a) Longitud de raíz (cm)

La longitud entre las raíces principales y las laterales se determinó mediante una regla graduada, registrando los valores en centímetros.

b) Peso fresco de raíz (g)

Para evaluar el sistema radicular (raíces principales y laterales), se efectuó un corte en la zona de transición o cuello de la planta. Luego de clasificar y etiquetar las muestras por tratamiento, se registró su peso en gramos utilizando una balanza de alta precisión.

c) Peso seco de raíz (g)

Posterior a la evaluación de la biomasa radicular húmeda, el exceso de agua se eliminó con papel absorbente. Seguidamente, el material se deshidrató en una estufa de secado a 60 °C por un lapso estimado de 48 horas, para luego cuantificar su peso en gramos utilizando una balanza de precisión.

d) Número de nódulos por planta

La cuantificación de nódulos se llevó a cabo durante el inicio de la floración. Para ello, se examinó una muestra de cinco plantas por cada tratamiento dentro de sus respectivas repeticiones.

e) Color de Leg-hemoglobina del nódulo

El análisis visual de los nódulos cortados reveló variaciones particulares en su coloración interna. Para su registro, estos patrones cromáticos se codificaron bajo una escala numérica convencional (0: incoloro; 1: rosado; 2: rojo; 3: rojo intenso)

f) Peso fresco de nódulo por planta (g)

El peso húmedo de los nódulos extraídos de la raíz primaria, secundarias y de la corona se cuantificó en gramos utilizando una balanza de alta precisión.

g) Peso seco de nódulos por planta (g)

Tras el análisis de los nódulos frescos, estos se secaron en una estufa a 60 °C durante 48 horas sobre papel periódico. Al lograr un peso constante, se calculó el promedio final de la materia seca en gramos.

2.12.2. Variables de rendimiento

a) Altura de planta (cm)

A los 65 dds, coincidiendo con la floración total y el porte máximo del cultivo, se midió la altura de planta en metros, considerando el segmento comprendido entre la base del tallo y el ápice inflorescencial principal. Se hizo la medida de 5 plantas por tratamiento, en un total de 25 plantas.

b) Número de vainas por planta

Se contabilizó el número total de vainas en cada planta. Se seleccionaron de manera aleatoria 10 especímenes vegetales por cada unidad experimental para conformar la muestra.

c) Número de granos por vaina

Se evaluaron aleatoriamente 10 vainas por planta en cada tratamiento, contabilizando sus granos totales para registrar el promedio de granos por vaina.

d) Longitud de vainas (cm)

Durante la etapa de madurez fisiológica, se seleccionaron aleatoriamente 10 vainas por tratamiento y bloque para medir su longitud en centímetros mediante una regla graduada. Estos valores cuantitativos permitieron calcular el promedio de la longitud de las vainas por planta.

e) Rendimiento en vaina verde (kg ha⁻¹)

La evaluación se realizó a los 96 días, cuando las vainas alcanzaron la madurez comercial óptima para la cosecha, se evaluó el rendimiento. Esto se hizo calculando el peso total de las semillas de cada tratamiento y expresándolo en kg/ha.

2.12.3. Variables en calidad

Contenido de proteína bruta

La cuantificación de la proteína en las semillas de arveja se llevó a cabo mediante ensayos analíticos. Inicialmente, se determinó la concentración de nitrógeno en las muestras, aplicando posteriormente el factor de conversión matemático de 6.25 para estimar el porcentaje proteico total. Cada muestra pesaba 25 gramos, y se tomaron 5 muestras por bloque de un total de 4 bloques, se recolectaron 20 muestras que fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés – LABSAF - Canaán para su análisis.

2.12.4. Evaluación de la rentabilidad económica

Rentabilidad económica en vaina verde

La evaluación económica por tratamiento se realizó considerando la relación entre los costos de producción, el rendimiento, precio de venta y la utilidad neta. El porcentaje de rentabilidad resultante se estimó a través de una fórmula matemática específica.

$$\% R = (\text{Utilidad neta/Costo total}) * 100$$

2.13. Instalación y manejo agronómico

El manejo agronómico se realizó mediante las siguientes labores:

2.13.1. Arado y nivelación del terreno

El 15 de diciembre de 2023, el terreno fue acondicionado mecánicamente mediante el uso de un arado de discos, seguido por una labor de rastreado y la posterior nivelación del terreno.

2.13.2. Trazado de unidad experimental

El 25 de enero de 2024, se llevó a cabo la actividad de dimensionamiento del campo experimental, siguiendo el croquis experimental. La distribución del diseño constó de 4 bloques y 20 parcelas experimentales. Asimismo, se trazaron los surcos y las calles

de acceso respetando las distancias programadas, un proceso ejecutado mediante el uso de flexómetro, cordeles, estacas y yeso para el marcado.

2.13.3. Surcado

El trazado de surcos se efectuó simultáneamente el día de la siembra con ayuda de un tractor, fijando un distanciamiento de 0.80 metros entre ellos y obteniendo así seis surcos por unidad de evaluación.

2.13.4. Evaluación de semilla

El material genético, provisto por el Centro Experimental Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, registró un 98% de capacidad germinativa y un 97% de pureza física.

2.13.5. Inoculación de la semilla

Los inoculantes fueron proporcionados bajo el Proyecto “Microorganismos promotores del crecimiento vegetal, UNSCH-FOCAM” y la inoculación se efectuó horas antes de la siembra, se empleó la técnica de inoculación simple, indicada por García-Blasquez et al. (2019), se detalla a continuación.

a) Inoculación con *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*

Para la inoculación de la semilla de arveja (*Pisum sativum*), se empleó un soporte turboso con una concentración de 1×10^9 UFC/g, dosificado a razón de 7.14 g de *Rhizobium* por kilogramo de semilla. El proceso de dosificación consistió en la humectación previa del sustrato y su posterior homogeneización utilizando 10 mL de una solución adherente de goma arábica al 40%; luego, a la mezcla se incorporaron las semillas hasta que cubrieran completamente la superficie de todas ellas, se dejó orear a la sombra y se sembró.

b) Inoculación con *Azospirillum brasilense*

Se utilizó inoculante de *A. brasilense* con una concentración de 1×10^8 UFC/gr ó ml; el procedimiento consistió en usar 5.0 gr de inoculante turboso y 5.0 ml de inoculante líquido. Se adicionó 10 ml de adherente (goma arábica al 40%), mezclando todo. Se aplicó el tratamiento a 1 kg de semillas mediante un mezclado uniforme que cubrió toda su superficie. Luego, se dejaron airear en un lugar sombreado antes de ser sembradas.

c) Coinoculación con *Rhizobium leguminosarum biovar viciae* y *Azospirillum brasilense*

Se mezcló 7.14 gr de inoculante de *R. leguminosarum biovar viciae* con 5.0 gr *A. brasilense* más 10 ml de solución adherente, se formó una mezcla oscura y se incorporó la semilla de 1 kg, seguidamente dejamos orear en la sombra.

2.13.6. Densidad de siembra

Se utilizó 70 kg/ha de semilla de la variedad Remate para la totalidad del tratamiento.

2.13.7. Fertilización

La fertilización de base consistió en usar Superfosfato Triple (SFT) a una dosis de 150 kg/ha y Cloruro de Potasio (KCl) una dosis de 60 kg/ha. Ambos fertilizantes se aplicaron de manera localizada mediante el método de golpe sobre un área total de 552 m² correspondiente a la unidad experimental.

Para el tratamiento de fertilización nitrogenada mediante urea, se suministró una dosis total de 45 kg/ha, la cual se fraccionó en dos etapas. La primera aplicación se realizó al momento de la siembra, aplicando en las cuatro repeticiones. Entre 40 y 45 días después de la siembra, durante el primer aporque, se efectuó la segunda fertilización, colocando la urea próxima a la base de la planta y cubriéndola con suelo para optimizar la absorción del nitrógeno y minimizar las pérdidas por volatilización.

2.13.8. Siembra

Se realizó la siembra manual el 30 de enero de 2024, colocándose tres semillas por golpe a una profundidad de 2 a 3 cm, con un espaciamiento de 0.3 m entre golpes y 0.8 m entre surcos. Esta operación se desarrolló por la mañana para evitar que la exposición a los rayos solares afectara a los microorganismos.

2.13.9. Riego

La siembra y la conducción del trabajo fue en meses donde la precipitación fue óptima para el cultivo, no se aplicó ningún riego.

2.13.10. Control de maleza

El control manual de malezas se realizó en cuatro ocasiones para evitar la pérdida de nutrientes, agua y radiación solar en el cultivo.

2.13.11. Tutorado

Esta labor se realizó a los 32 dds con la finalidad de sostener y guiar el crecimiento de forma vertical de las plantas de arveja, utilizando carrizos y rafia. Ya que esto permite que las plantas se desarrollen de forma más sana y de mayor calidad, se realizaron 5 a 6 niveles de tutorado según el crecimiento de la arveja, iniciando el 4 de febrero del 2024.

2.13.12. Aporque

A los 30 días después de la siembra (dds), específicamente el 2 de febrero de 2024, se llevó a cabo el aporque del cultivo de manera tradicional (manual). Para ello, se emplearon azadones con el fin de arrimar tierra a la base del tallo, buscando optimizar la estabilidad mecánica y brindar un soporte firme al sistema radicular de las plantas.

2.13.13. Control fitosanitario

A lo largo del ciclo fenológico del cultivo, la incidencia de fitopatógenos y plagas se mantuvo en niveles mínimos, una de las enfermedades que se presentó cuando la planta tenía 34 (dds) fue *Fusarium oxysporum* para ello se aplicó un fungicida agrícola (Protexín) con una dosis de 30 ml por 20 litros.

En el cultivo se presentó algunas plagas como la *Diabrotica* spp y el pulgón (*Myzus persicae*), su control se realizó dos veces durante todo el proceso fenológico utilizando el producto químico Beta – Baytroide 125 SC con una dosis de 10 – 30 ml por 20 litros, la aplicación se realizó con una mochila fumigadora Jacto.

2.13.14. Cosecha

A los 96 dds (6 de mayo de 2024), se procedió con la cosecha total y simultánea del ensayo, bajo un criterio y cosecha única. Se verificó previamente que el cultivo cumpliera con los índices de madurez fisiológica y comercial requeridos. Para garantizar la uniformidad en la toma de muestras, la labor se realizó manualmente con el apoyo de tijeras.

2.14. Análisis estadístico

Las variables cuantitativas fueron sometidas a un Análisis de Varianza. Al registrarse significancia estadística, se recurrió a la prueba de contraste de Tukey (0.05) con el propósito de identificar y comparar los diferentes grupos. El tratamiento y análisis estadístico de los datos se realizó a través de software InfoStat. Por su parte, la organización de los resultados, así como la elaboración de tablas y figuras, se realizaron utilizando el programa Microsoft Excel 2021.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de la capacidad simbiótica

3.1.1. Parámetros evaluados en la raíz de arveja

Tabla 3.1

Análisis de varianza de los parámetros evaluados de la capacidad simbiótica en la raíz de arveja bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.

		Longitud de raíz (cm)	Peso fresco de raíz más nódulos (g)	Peso fresco de raíz sin nódulos (g) (*)	Peso seco de raíz sin nódulos (g)	% MS de raíz sin nódulos
F.V	G. L	CUADRADOS MEDIOS (CM)				
Bloques	3	0.65 ns	0.05 ns	0.15 ns	0.0003 ns	8.18 ns
Tratamientos	4	8.95**	2.22 **	0.52 **	0.01 **	30.67 **
Error	12	0.43	0.02	0.06	0.0006	3.71
Total	19					
C.V (%)		3.29	4.92	11.75	7.97	12.31

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

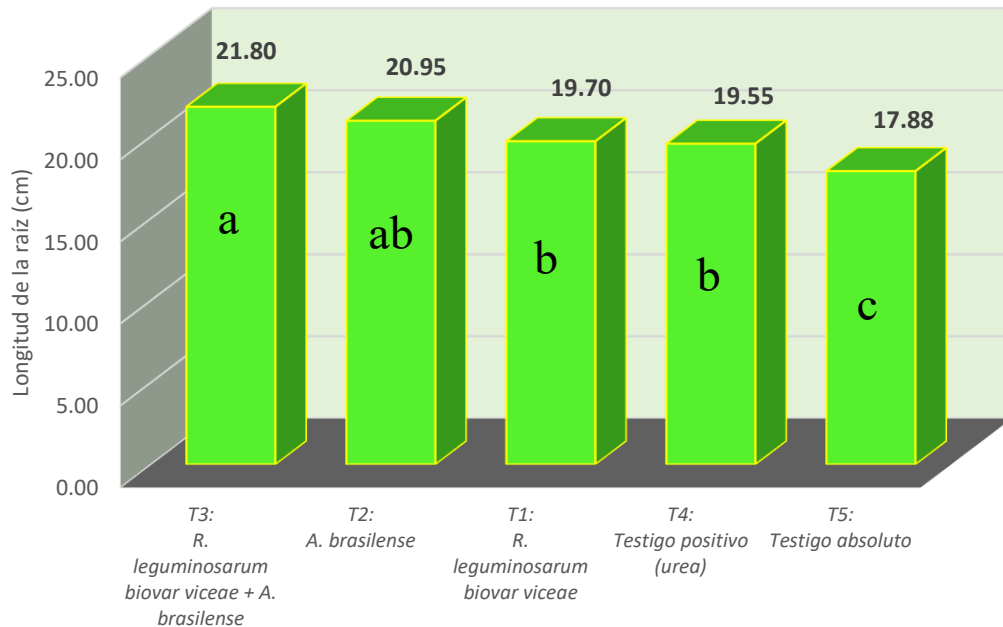
El análisis de varianza que se muestra (Tabla 3.1) en las variables de la capacidad simbiótica (longitud de raíz, peso fresco de raíz más nódulos, peso fresco de raíz sin nódulos, peso seco de raíz sin nódulos y MS de raíz sin nódulos). Los tratamientos aplicados resultaron estadísticamente significativos para todos los parámetros. La significancia positiva sugiere que por lo menos uno de los tratamientos tuvo efecto diferenciado, es decir, existe una respuesta positiva de los parámetros de raíz.

Los parámetros analizados registraron un coeficiente de variación de entre 3.29% y 12.31%, valores que respaldan la rigurosidad, precisión y validez de los hallazgos obtenidos en el presente estudio.

3.1.2. Longitud de raíz (cm)

Figura 3.1

Prueba de Tukey (0.05) de los valores promedio de la longitud de raíz de arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación de *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.1, se observa la comparación de medias Tukey de la longitud de raíces de arveja, donde se evidencia que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) fue superior en longitud de raíz (cm), obteniendo un promedio de 21.80 cm, lo que representa una ventaja de 3.92 cm, equivalente a un incremento de 17.98% en comparación con el testigo absoluto. No obstante, con el T3 y T2 (*A. brasilense*) las respuestas se muestran similares a nivel estadístico, donde únicamente se aprecian variaciones cuantitativas sin significancia estadística. En longitud de raíz, tanto el testigo positivo (urea) y absoluto resultaron con respuestas más bajas, con promedios de 19.55 y 17.88 cm, respectivamente.

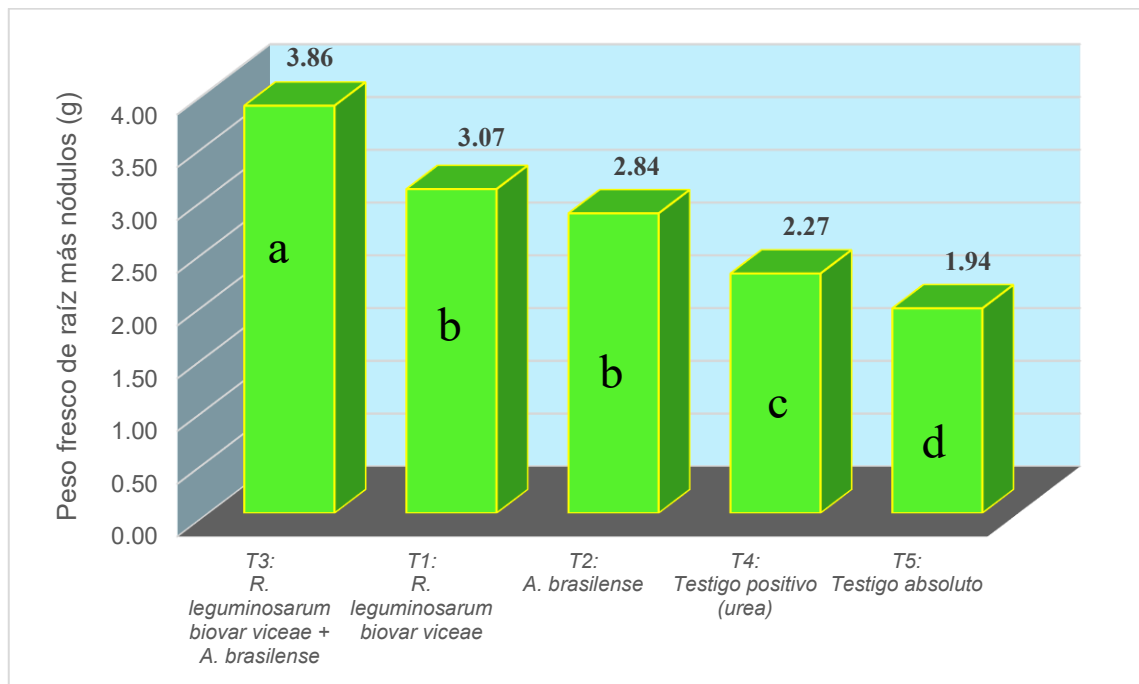
En el presente estudio, la longitud radicular registrada oscila entre 19,70 y 21,80 cm, valores que se encuentran dentro del rango reportado por Quispe (2018), quien obtuvo longitudes de 18 a 21 cm al evaluar el efecto del abonamiento orgánico y la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae*. La ligera superioridad observada se le atribuye a la coinoculación con microorganismos benéficos, especialmente *A. brasilense*, que promueve el crecimiento radicular al incrementar el número y la longitud de raíces, el

volumen y la biomasa del sistema radicular, así como la formación temprana de pelos radicales, favoreciendo una mayor absorción de nutrientes y un desarrollo radicular más vigoroso.

3.1.3. Peso fresco de raíz más nódulos

Figura 3.2

Prueba de Tukey (0.05) de los valores del promedio de peso fresco de raíz más nódulos en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



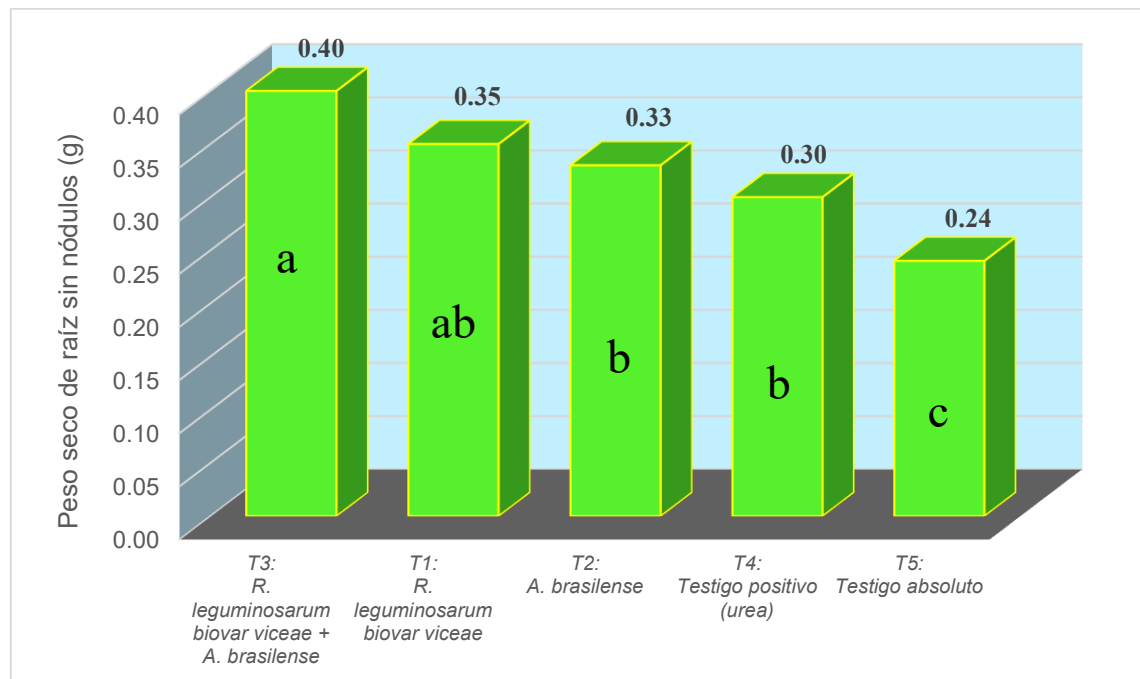
En la Figura 3.2, los resultados indican que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) mostró una superioridad estadística significativa frente a los tratamientos de control. Específicamente, el T3 superó al T4 (Fertilización con Urea) y al T5 (Testigo absoluto) con incrementos del 41.19% y 49.74%, respectivamente. Por otra parte, no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los efectos de los tratamientos T1 (*R. leguminosarum*) y T2 (*A. brasilense*), compartiendo el rango literal "b". Aunque se registraron diferencias numéricas menores (3.07 g y 2.84 g con respecto al testigo), estas no alcanzaron significancia estadística. Estos hallazgos sugieren que, si bien cada microorganismo por separado aporta al desarrollo radicular, su interacción sinérgica potencia significativamente la biomasa de la raíz y la nodulación.

La co-inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *Azospirillum brasilense* demostró beneficios significativos en el crecimiento vegetativo y radicular. Estos hallazgos concuerdan con Cubillos et al. (2024), quienes reportaron, que la asociación del rizobios y *Azospirillum brasilense* con ácido húmico (HA) potenció la elongación y proliferación radicular, atribuyéndolo a la modificación de la arquitectura del sistema radicular en plantas del frijol (*Phaseolus lunatus*).

3.1.4. Peso seco de raíz sin nódulos

Figura 3.3

Prueba de Tukey (0.05) del peso seco de raíz sin nódulos de la arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.3, se efectuó un análisis de comparación de Tukey para los promedios de peso seco de raíz sin nódulos en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Remate. Los resultados muestran que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) presenta diferencias estadísticas significativas respecto a los tratamientos T4 (urea) y T5 (testigo absoluto), registrando incrementos del 25 % y 40 %, respectivamente. Asimismo, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T2 y T4, los cuales compartieron la misma letra estadística (“b”), lo que indica que la inoculación con *A. brasilense* y la aplicación de urea presentan efectos similares sobre el peso seco de raíz.

La interacción microbiana influye en procesos clave como la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, la biosíntesis y regulación de fitohormonas, y la solubilización de minerales y nutrientes esenciales para la planta. Además, estos microorganismos promueven el desarrollo radicular, evidenciado en el aumento del volumen y biomasa de la raíz. En el presente estudio, se obtuvo un peso seco radicular de 0.393 g, valor que resulta inferior al reportado por Ccente (2023), quien registró 0.821 g de peso seco de raíz en la misma variedad Remate, utilizando un consorcio microbiano de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y *Rhizobium* spp.

3.2. Nódulos por planta

Tabla 3.2

Análisis de varianza (ANVA) del número de nódulos por planta, peso fresco y peso seco de nódulo por planta por efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.

F.V	G. L	Número de nódulos / planta	Peso fresco de nódulo / planta (g)	Peso seco de nódulos / planta (g)	% MS de nódulos
CUADRADOS MEDIOS (CM)					
Bloques	3	29.84 *	0.04 ns	0.0001 ns	13.93 ns
Tratamientos	4	348.98 **	1.81 **	0.01**	166.18 **
Error	12	11.04	0.03	0.000	81.29
Total	19				
C.V (%)		20.29	24.25	34.50	18.46

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

La evaluación de varianza que se presenta (Tabla 3.2) de las variables de la capacidad simbiótica (número de nódulos por planta, peso fresco, seco de nódulos por planta y materia seca de nódulos por planta). Según estos resultados, resultaron estadísticamente alta significante en los tratamientos ($0.01 > p^{**}$) en las variables. Es decir, los inoculantes aplicados como tratamientos tuvieron efecto diferenciado en estos parámetros evaluados.

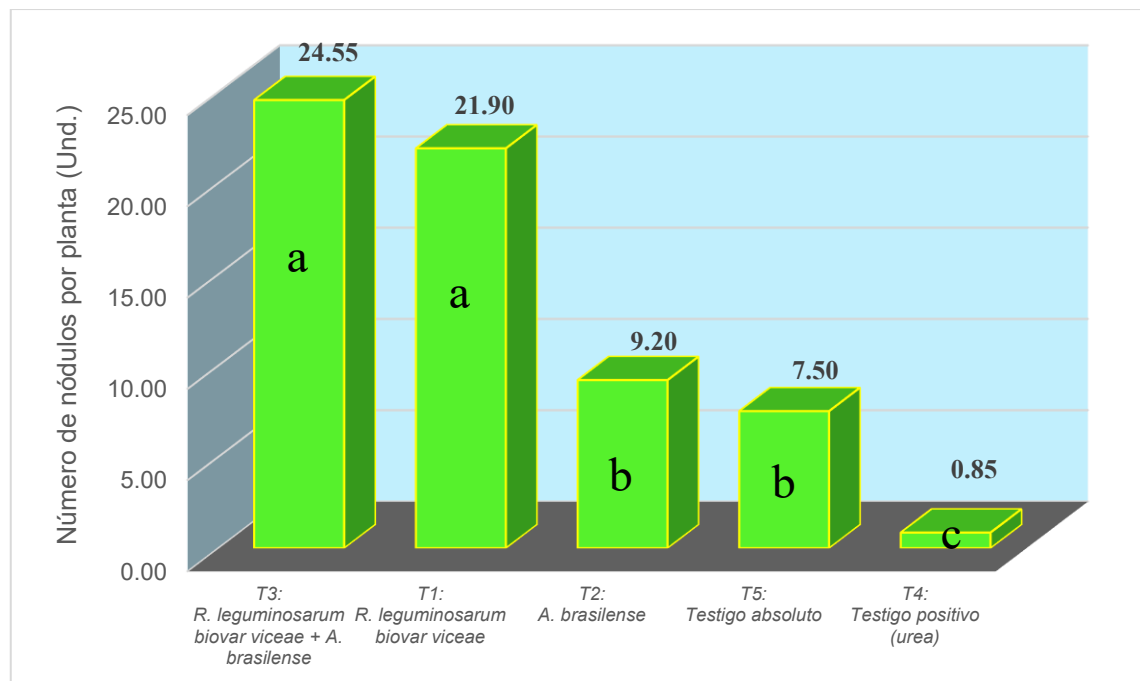
La significancia de los bloques, como resultó en número de nódulos por planta, indica una variabilidad entre las repeticiones, esto se debe a los efectos de factores como el clima, manejo, etc.

Los coeficientes de variabilidad fluctuaron en el rango de 18.46% - 34.50% en rangos más aceptables a nivel de campo con relativa heterogeneidad en los datos de campo.

3.2.1. Número de nódulos por planta

Figura 3.4

Prueba de Tukey (0.05) del número de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



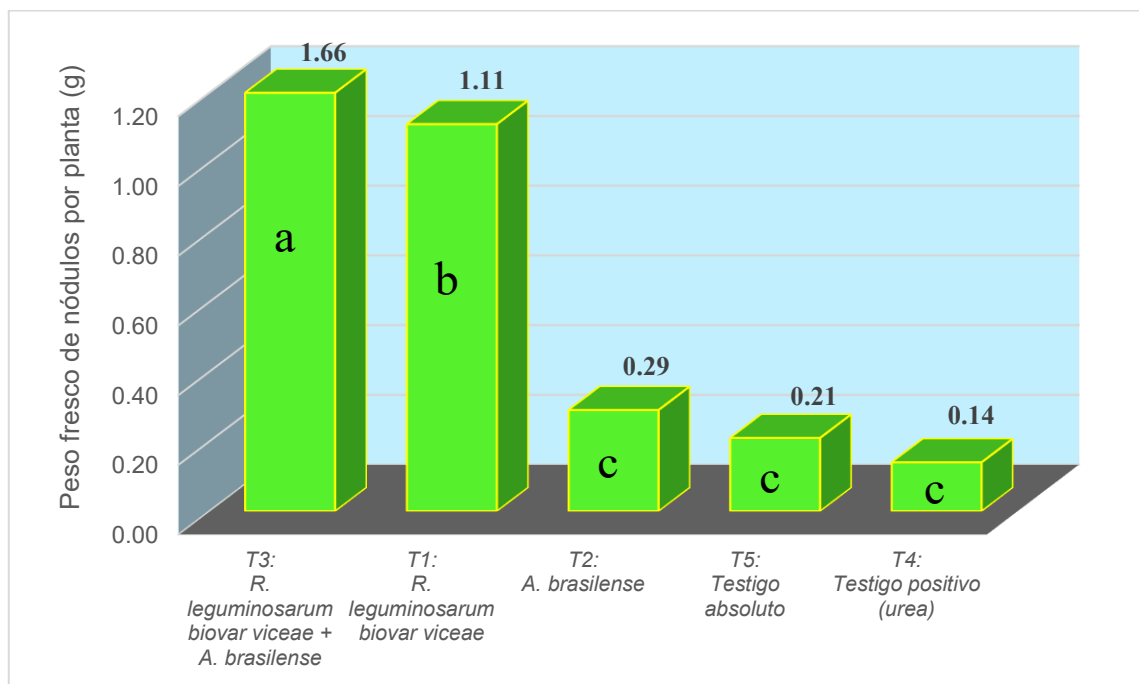
La Figura 3.4, se efectuó un análisis de comparación de Tukey aplicada al número de nódulos por planta en arveja variedad Remate. Se determinó que los tratamientos T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) y T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) alcanzaron los mayores promedios en la formación de nódulos, con valores de 24.55 y 21.90 nódulos por planta, respectivamente. Ambos tratamientos se ubicaron en el rango superior de significancia, superando ampliamente a los demás grupos evaluados. En contraste, los tratamientos T2 (*A. brasilense*), T5 (Testigo absoluto) y T4 (Urea) presentaron un desempeño inferior, con promedios de 9.20, 7.50 y 0.85 nódulos por planta, respectivamente. Desde el punto de vista estadístico, estos tres tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí, quedando agrupados en el rango literal "b".

El número de nódulos por planta obtenido en la presente investigación (24.55 en el tratamiento T3) resultó inferior a los 52 nódulos por planta reportados por Muñoz (2018) en la misma variedad de arveja (Remate), en cuanto a esta diferencia vale precisar que Muñoz empleó una estrategia de nutrición complementaria basada en la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* más micronutrientes y extractos de algas marinas.

3.2.2. Peso fresco de nódulos por planta

Figura 3.5

Prueba de Tukey (0.05) del peso fresco de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.



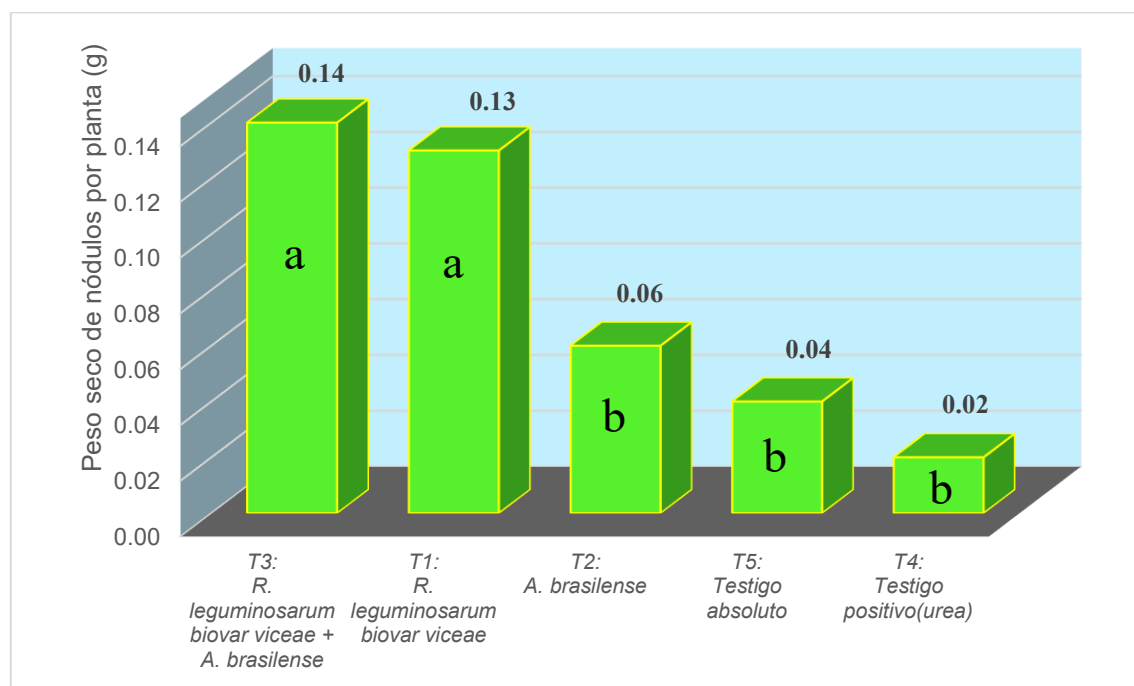
La Figura 3.5, muestra los resultados de la prueba de Tukey, aplicada al peso fresco de nódulos por planta en arveja variedad Remate. Los resultados indican que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*) y el T1 (*R. leguminosarum biovar viciae*) registraron los rendimientos más elevados en términos de biomasa, con valores de 1.66 g y 1.11 g, respectivamente, ubicándose en los rangos estadísticos superiores, evidenciando un incremento diferenciado en comparación con los grupos de control. En contraste, los tratamientos T2 (*A. brasilense*), T5 (Testigo absoluto) y T4 (Urea) registraron pesos inferiores, con promedios de 0.29 g, 0.21 g y 0.14 g. Desde el punto de vista estadístico, estos tres grupos no mostraron diferencias significativas entre sí, quedando agrupados en el rango literal "c".

El peso fresco de nódulos obtenido mediante la coinoculación de *R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense* es 1.66 g/planta que es significativamente superior al valor de 1.19 g/planta reportada por Tipan (2014), quien registró un peso de 1.19 g/planta utilizando la inoculación con *Rhizobium* sp. combinada con un testigo sin nitrógeno. Esta diferencia puede atribuirse a diversos factores, como las condiciones ambientales o la cepa específica utilizada. Además, Se postula que *Azospirillum* incrementa la producción de fitohormonas, principalmente auxinas, lo que estimula una mayor ramificación radicular y, por ende, aumenta los sitios de infección para la formación de nódulos más robustos y pesados.

3.2.3. Peso seco de nódulos por planta

Figura 3.6

Prueba de Tukey (0.05) del peso fresco de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



La Figura 3.6, presenta los análisis de la prueba de comparación múltiple de Tukey (5%) respecto al peso seco de los nódulos por planta en la variedad de arveja Remate. Al respecto, se evidencia que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*+ *A. brasilense*) obtuvo el mayor peso seco de nódulos (0.14 g), seguido por T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) con 0.13 g; En contraste los tratamientos T2 (*A. brasilense*), T5 (T5: testigo absoluto) y T4 (urea) obtuvieron valores de 0.06 g, 0.04 g y 0.02 g,

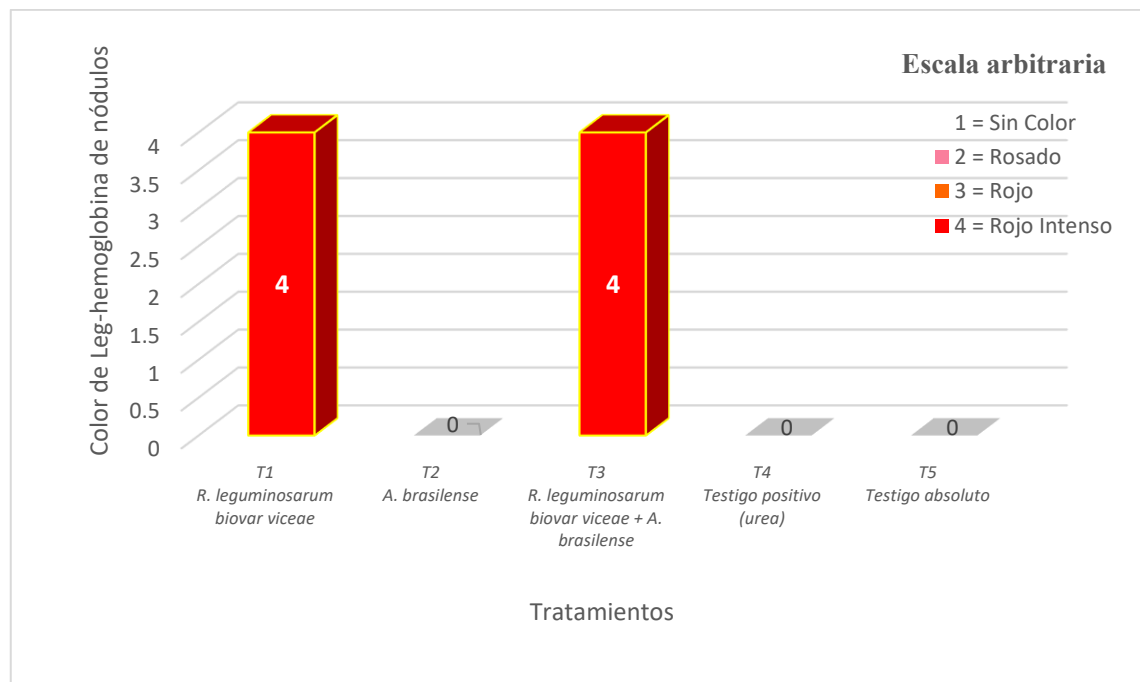
respectivamente y perteneciendo al mismo grupo estadístico (“b”). En resumen, la coinoculación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal mejoran significativamente la biomasa nodular en arveja respecto a los testigos, especialmente cuando se combinan *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.

Los resultados obtenidos evidencian que la inoculación conjunta con *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* y *Azospirillum brasilense* permitió que los tratamientos inoculados presenten valores superiores de peso seco por planta en comparación con el testigo absoluto y el testigo positivo, alcanzando un promedio de 0,14 g por planta. Si bien este valor es inferior al reportado por Tipán (2014), quien registró 0,21 g por planta, La diferencia observada se atribuye a variaciones en las condiciones edafoclimáticas, el manejo agronómico, la cepa bacteriana utilizada o la respuesta específica del cultivo, factores que influyen directamente en la eficiencia de la simbiosis.

3.2.4. Color de Leg-hemoglobina del nódulo

Figura 3.7

Distribución de la intensidad del color de leg-hemoglobina de nódulos por cada tratamiento, por efecto de la inoculación con bacteria en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* en arveja variedad Remate.



En la Figura 3.7, en los tratamientos T1 (*R. leguminosarum biovar viciae.*) y T3 (*R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*) el 100% de las coloraciones de los nódulos fueron de color rojo intenso. El T2 (*A. brasilense*), T4 (con urea) y T5 (testigo) presentó una ausencia total de coloración.

En los tratamientos inoculados con *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*, las plantas de arveja presentaron nódulos de coloración rojo intenso del que indica una efectiva fijación biológica de nitrógeno. Esta coloración se debe a la presencia de leg-hemoglobina, una hemoproteína característica y abundante en los nódulos radiculares eficientes, la cual actúa como un transportador de oxígeno que mantiene condiciones microaerófilas óptimas para la actividad de la nitrogenasa. Según Felipe (2009), la leg-hemoglobina también es conocida como "nodulina tardía" debido a que su expresión ocurre en etapas posteriores al desarrollo morfológico del nódulo. Su presencia es esencial para que el proceso de fijación de nitrógeno molecular (N₂) pueda llevarse a cabo eficientemente.

3.3. Nitrógeno y proteína total en granos

Tabla 3.3

Análisis de varianza del contenido total de nitrógeno y proteína, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.

F.V	G. L	% nitrógeno total	% proteína total
		CUADRADOS MEDIOS (CM)	
Bloques	3	0.01 ns	0.28 ns
Tratamientos	4	0.04 ns	1.53 ns
Error	12	0.02	0.63
Total	19		
C.V (%)		3.43	3.56

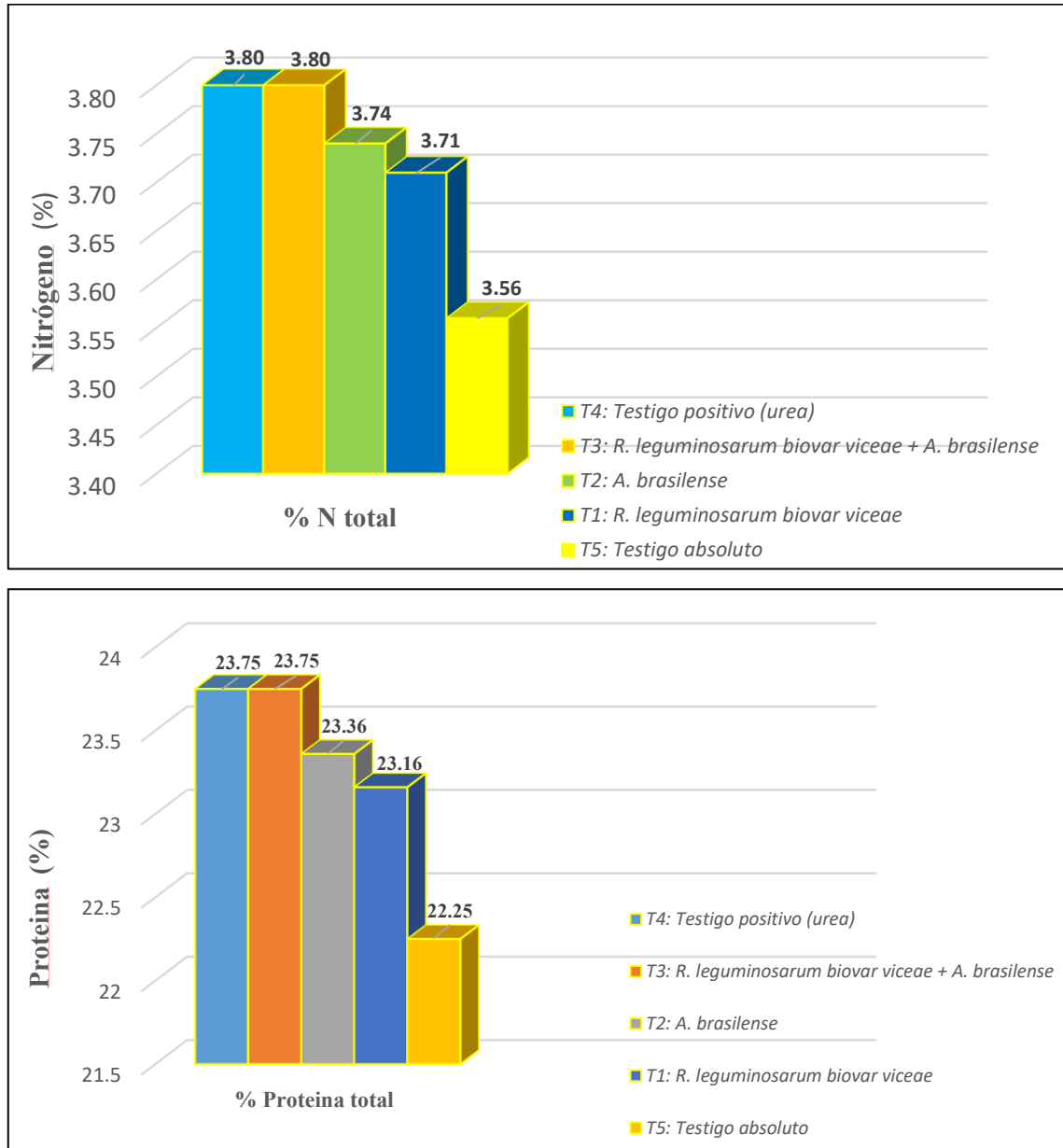
Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

Según el análisis de varianza del contenido de nitrógeno y proteína total presentado (Tabla 3.3), no se registraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0,05$). Este comportamiento indica que las respuestas obtenidas fueron similares en todos los tratamientos, incluidos los testigos, bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento. Los coeficientes de variabilidad obtenidos, de 3,43 % para nitrógeno y 3,56 % para proteína total, evidencian una baja

variabilidad experimental, lo que demuestra una adecuada precisión del ensayo y una alta confiabilidad.

Figura 3.8

*Prueba de Tukey (0.05) del nitrógeno y proteína total de granos de arveja variedad Remate por efecto de la inoculación con *R. leguminosarum biovar viceae* y *A. brasilense*.*



En la Figura 3.8, se presenta la prueba de significación Tukey del contenido de nitrógeno y proteína total en tejido de arveja variedad Remate. Para el contenido de N total, se observó que los tratamientos con aplicación de inoculantes microbianos (T1, T2 y T3) y el tratamiento con fertilización nitrogenada urea (T4) presentaron valores

significativamente superiores en comparación con el testigo absoluto (T5), el cual registró el menor contenido de nitrógeno total. Estos resultados indican que tanto la inoculación microbiana como la aplicación de urea contribuyeron al incremento del nitrógeno total en el cultivo. En cuanto al contenido de proteína total, la prueba de Tukey evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Los tratamientos T3 (coinoculación) y T4 (urea) alcanzaron los valores más altos de proteína total (23,75 %), sin presentar diferencias significativas entre ellos, lo que indica un efecto comparable sobre esta variable. Por su parte, los tratamientos T1 y T2 mostraron valores intermedios, mientras que el testigo absoluto (T5) presentó el menor contenido proteico (22,25 %), siendo estadísticamente inferior al resto de tratamientos.

Estas respuestas con la urea podrían deberse a que, al ser una fuente de nitrógeno mineral de rápida liberación, proporciona nitrógeno directamente disponible para la planta, favoreciendo la síntesis de aminoácidos y proteínas. Por ello, las plantas fertilizadas con urea presentan mayor contenido de nitrógeno y proteína total en los granos. En contraste, los tratamientos inoculados con bacterias fijadoras de nitrógeno, como *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* y *Azospirillum brasilense*, dependen de procesos biológicos complejos y lentos, cuya eficiencia está condicionada por factores ambientales como la temperatura, humedad del suelo, pH y disponibilidad de carbono.

En relación con el porcentaje de nitrógeno y contenido proteico en el presente estudio, se observa una uniformidad entre los tratamientos, ya que las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Esto indica que tanto la fertilización química como la biológica resultaron en producciones equivalentes de porcentaje de nitrógeno y proteína en las plantas.

De acuerdo con Tipan (2014), quien evaluó la fijación simbiótica de nitrógeno en arveja (*Pisum sativum* L.) inoculada con cepas del género *Rhizobium*, los tratamientos inoculados mostraron un contenido promedio de nitrógeno de 0.23 gramos, en comparación con el testigo sin aplicación de nitrógeno, que registró únicamente 0.11 gramos de N, evidenciando el impacto positivo de la inoculación en la acumulación de nitrógeno. Esos registros son inferiores a los resultados de esta investigación lo cual se atribuye a que los fertilizantes químicos presentan un mecanismo de liberación y asimilación rápida, proporcionando nutrientes de forma inmediata y directa. En contraste,

la fijación biológica de nitrógeno depende de procesos metabólicos y simbióticos complejos entre microorganismos fijadores y las plantas.

En su investigación, Chaupin (2024) reportó un contenido promedio de proteína del 23.52% como resultado de la inoculación con *Rhizobium leguminosarum biovar viciae*. Estos datos muestran una tendencia similar a los registrados en nuestro ensayo, donde se registró un contenido proteico del 23.75% con la inoculación de *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense* y la aplicación del testigo positivo (urea), lo que indica una respuesta similar en la concentración proteica del cultivo bajo ambos tratamientos.

3.4. Variables de rendimiento

Tabla 3.4

Análisis de varianza (ANVA) de altura promedio de la planta de arveja hasta madurez fisiológica y cosecha de vainas verde, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.

F.V	G. L	Altura a madurez	Altura a la cosecha
		fisiológico	de vainas
		CUADRADOS MEDIOS (CM)	
Bloques	3	10.25 ns	15.51 ns
Tratamientos	4	147.57 **	132.85 *
Error	12	20.81	30.08
Total	19		
C.V (%)		3.89	4.66

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

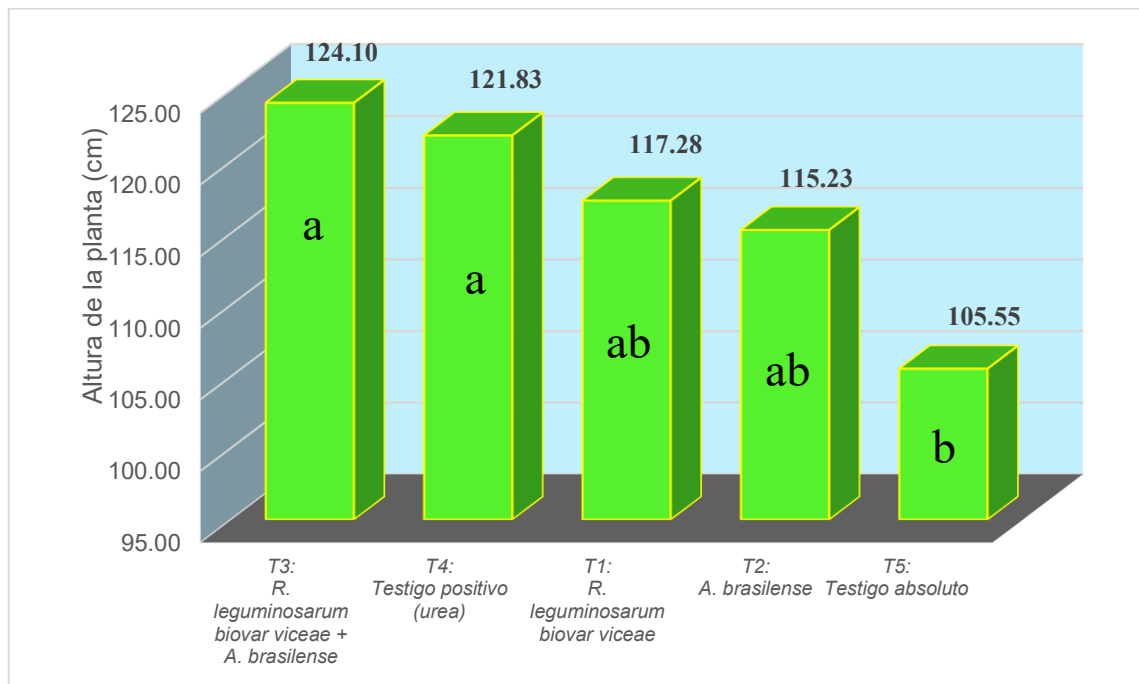
En el análisis de varianza que se muestra (Tabla 3.4), para la variable altura de la planta en etapa de madurez fisiológica y cosecha de vainas verdes, en ambas etapas los tratamientos resultaron estadísticamente significativas. Es decir, al menos uno de los tratamientos tuvo una mejor influencia en altura de la planta en ambos periodos fenológicos. La falta de significancia en los bloques confirma que las repeticiones de cada tratamiento mantuvieron un comportamiento homogéneo.

En altura de la planta en madurez fisiológica y a la cosecha de vaina verde, se encontraron coeficientes de variabilidad de 3.89% y 4.66%, los cuales indican elevado nivel de exactitud y rigurosidad en los datos obtenidos.

3.4.1. La altura de la planta

Figura 3.9

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de altura promedio de la planta en cosecha de vainas verdes en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.9, se presenta los resultados de la prueba de Tukey para la altura promedio de la planta de arveja variedad Remate, bajo el efecto de inoculantes microbianos. Se observó que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) registró la mayor altura de planta (124,10 cm), seguido por los tratamientos T4 (urea), T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) y T2 (*A. brasilense*), con valores de 121,83 cm, 117,28 cm y 115,23 cm, respectivamente. El menor valor correspondió al tratamiento T5 (testigo absoluto), con una altura promedio de 105,55 cm. La combinación de la inoculación bacteriana y la fertilización nitrogenada estimuló un incremento significativo en la altura de las plantas de arveja, superando los resultados del tratamiento control.

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran valores de altura de planta superiores a los reportados por Chaupin (2024), quien registró alturas promedio de 83,92 cm en la variedad Remate y 75,13 cm en la variedad Usui con la inoculación de *R. leguminosarum* biovar *viciae*. Estas diferencias podrían atribuirse al manejo agronómico empleado, particularmente a la inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno.

En este estudio, la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense* habría favorecido el desarrollo vegetativo de la arveja, debido a la capacidad de *A. brasilense* para sintetizar fitohormonas, como auxinas, que estimulan el crecimiento radicular y aéreo de la planta, traduciéndose en un mayor incremento en la altura de planta.

3.4.2. Número de vainas por planta

Tabla 3.5

Análisis de varianza de número de vainas verdes promedio por planta de arveja, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.

F.V.	G. L	S. C	C. M	Fc	P-valor
Bloques	3	5.47	1.82	1.477	0.2706 ns
Tratamiento	4	71.62	17.91	14.508	0.0002**
Error	12	14.81	1.23		
Total	19	91.90			
C. V. (%):	5.30				

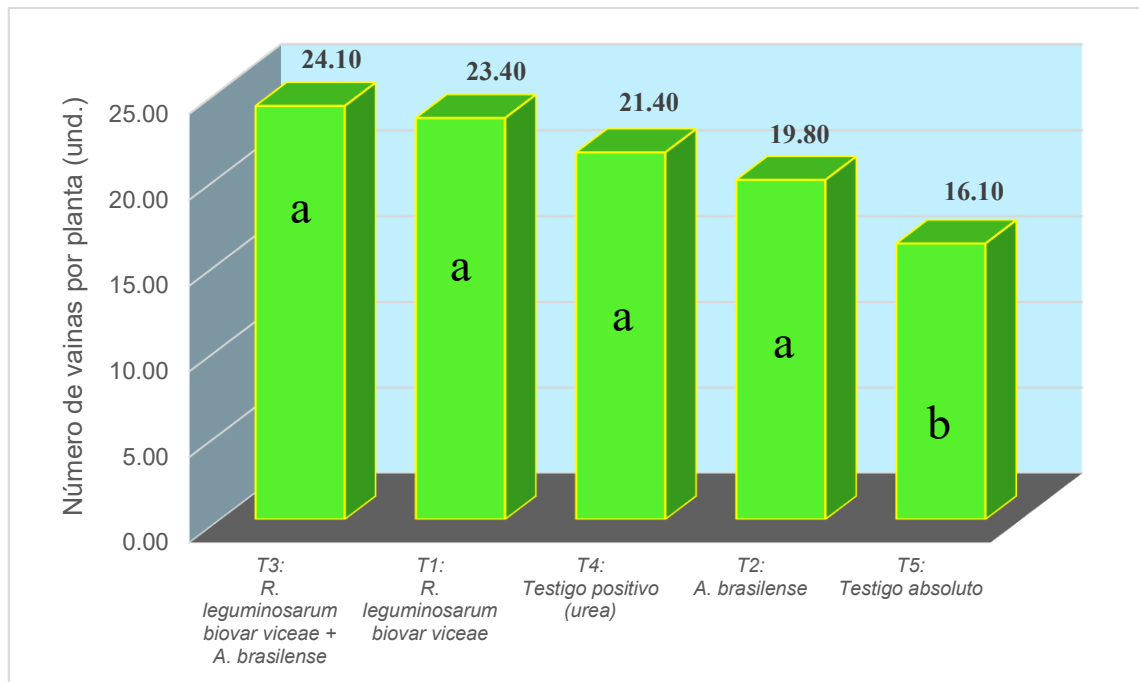
Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

Los resultados del análisis de varianza indican que se muestra (Tabla 3.5), en número de vainas promedio por planta, se encontró una alta significancia estadísticamente ($0.01 > p^{**}$). Es decir, al menos uno de los tratamientos tuvo efecto diferenciado en número de vainas. En este caso, los bloques resultaron homogéneos. Dado que existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, esto sugiere análisis de comparación de medias para identificar los mejores tratamientos.

Para la variable número de vainas por planta, se registró un coeficiente de variabilidad de 5.30%; este porcentaje refleja la rigurosa precisión y la validez de los resultados reportados.

Figura 3.10

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del número de vainas promedio por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



La Figura 3.10 presenta las comparaciones múltiples de Tukey para la variable del número de vainas promedio por planta de arveja variedad Remate, bajo el efecto de inoculantes microbianos. Se observa que los tratamientos T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*), T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*), T4 (testigo positivo con urea) y T2 (*A. brasilense*), alcanzaron números similares en vainas por planta, con promedios de 24.10, 23.40, 21.40 y 19.80 unidades, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos (“a”). En cambio, el testigo absoluto (T5) mostró el menor número de vainas que todos, 16.10 unidades. En resumen, tanto los inoculantes microbianos como la fertilización nitrogenada favorecieron con la misma intensidad en número de vainas por planta.

Por su parte, Ruiz (2024) centró su análisis investigativo en *Rhizobium*, evaluando su específicamente en relación con la densidad de siembra e inoculación con *Rhizobium* sp. y su efecto en el rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.), se obtuvo un resultado de 21.33 vainas por planta para la variedad Remate. En el presente trabajo, sin embargo, se observó un mayor número de vainas por planta, con 24.10 vainas en el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) y 23.40 vainas en el tratamiento T1 (*R.*

leguminosarum biovar viciae.). Esta diferencia puede atribuirse principalmente al nivel del piso ecológico y al tipo de suelo en los cuales se realizaron los estudios. La co-inoculación bacteriana beneficia la simbiosis con la planta al estimular el crecimiento de la raíz y del tallo, lo que aumenta el espacio para la nodulación y mejora la absorción de agua y nutrientes.

3.4.3. Número de granos por vaina

Tabla 3.6

Análisis de varianza (ANVA) de número de granos promedio por vaina, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.

F.V.	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	3	1.05	0.35	8.571	0.0025**
Tratamiento	4	1.81	0.45	11.082	0.0005**
Error	12	0.49	0.04		
Total	19	3.35			
C. V. (%):	3.65				

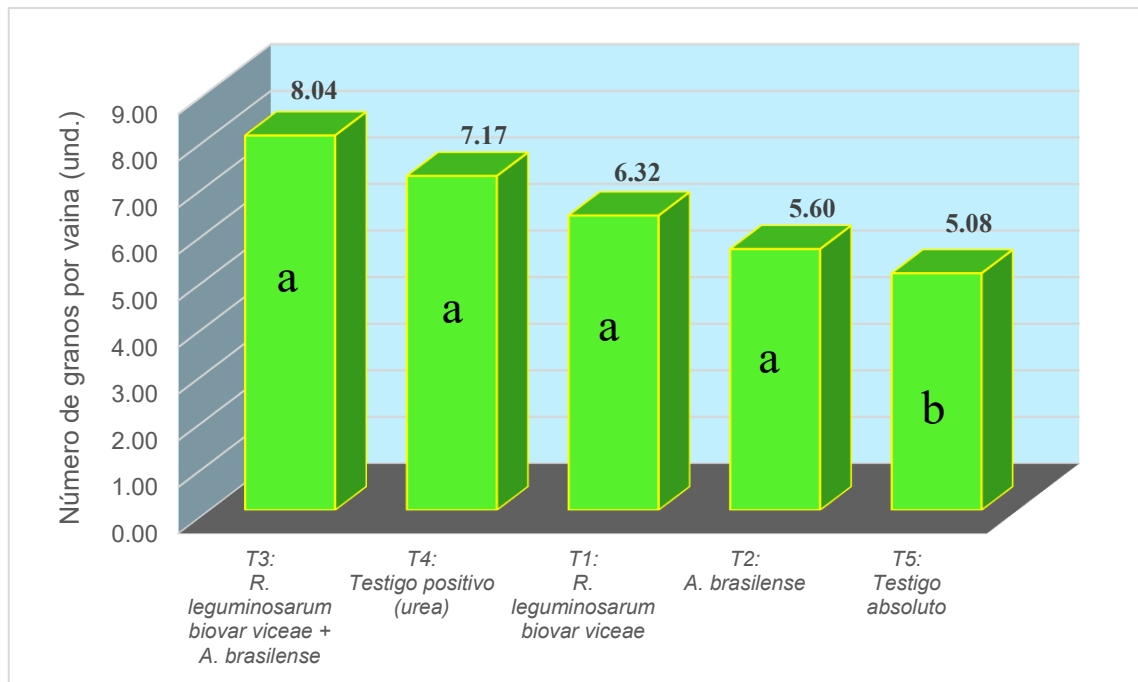
Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3.6) para el número medio de granos por vaina revelaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$), lo que indica un impacto marcadamente superior por parte de, al menos, uno de los tratamientos. Por otro lado, se detectó una variabilidad significativa entre los bloques evaluados ($p < 0.05$). Dado que existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, esto sugiere análisis de comparación de medias para identificar los mejores tratamientos.

En número de vainas por planta se encontró un coeficiente de variabilidad de 3.65%, lo cual indica alta precisión y confiabilidad de los resultados mostrados.

Figura 3.11

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del número de granos promedio por vaina en arveja verde variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



La Figura 3.11, presenta los resultados de la prueba de Tukey para número de granos promedio por vaina de arveja variedad Remate, bajo el efecto de inoculantes microbianos. Se observó que los tratamientos T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*), T4 (testigo positivo con urea), T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) y T2 (*A. brasilense*) alcanzaron promedios similares en el número de granos por vaina (8,04; 7,17; 6,32 y 5,60, respectivamente), sin presentarse diferencias estadísticas significativas entre ellos, al compartir la misma letra estadística (“a”). Por el contrario, el tratamiento T5 (testigo absoluto) registró el menor promedio, con 4,98 granos por vaina. En conjunto, la inoculación microbiana y la fertilización nitrogenada favorecieron el incremento del número de granos por vaina en comparación con el testigo sin inoculación.

Los resultados obtenidos por Quispe (2018), quien reportó al evaluar el número de granos por vaina en cinco variedades de arveja sometidas a fertilización orgánica y a la inoculación con *Rizomack* (*R. leguminosarum* biovar *viciae*), se registraron valores que oscilaron entre 5.83 y 6.92 granos por vaina. Estos valores son consistentes con los hallados en el presente estudio, sobre esta similitud vale precisar que el número de granos

dependen de la variedad, la posición de la legumbre respecto a la planta, las condiciones meteorológicas y la fertilización utilizada.

3.4.4. Longitud de vainas

Tabla 3.7

Análisis de varianza (ANVA) de la longitud de vainas promedio, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.

F.V.	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	3	0.01	0.004	0.667	0.5849 ns
Tratamiento	4	0.60	0.15	25.083	<0.0001**
Error	12	0.07	0.01		
Total	19	0.69			
C. V. (%):	0.97				

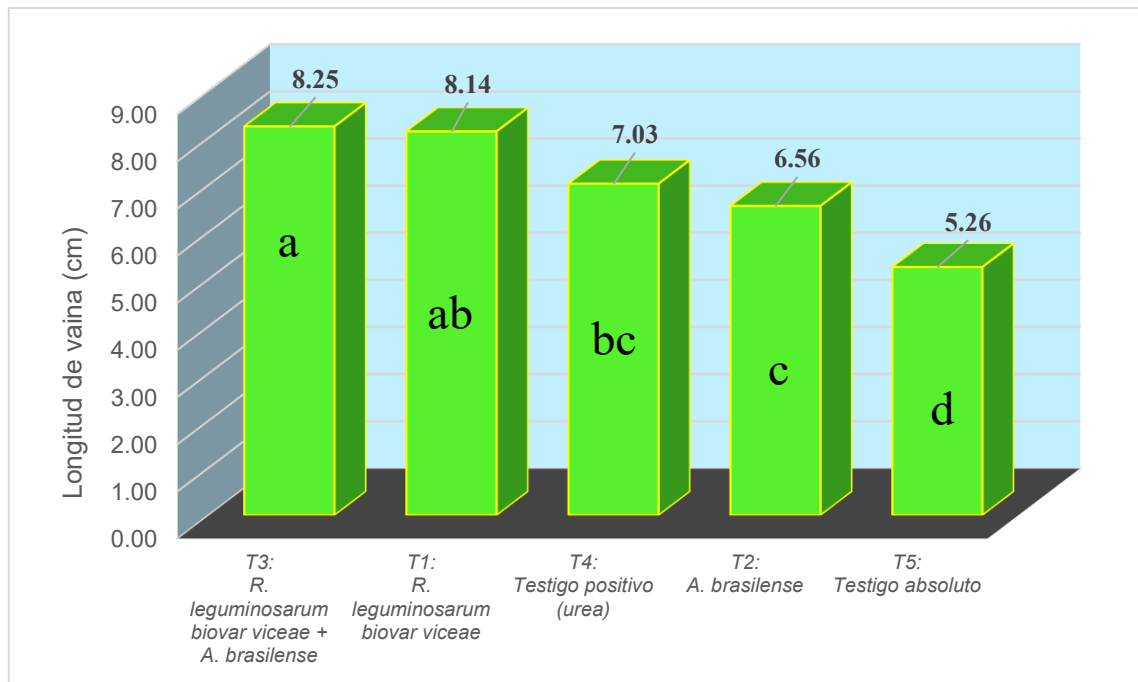
Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza presentados en la Tabla 3.7, se observa que la longitud de vainas promedio de arveja variedad Remate. Según el resultado, se encontró una alta significancia estadística ($0.01 > p^{**}$) en el efecto de los tratamientos. Es decir, los tratamientos tuvieron efecto diferenciado en la longitud de las vainas. En este caso, los bloques resultaron más homogéneos ($p > 0.05$). Dado que existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, esto sugiere análisis de comparación de medias para identificar los mejores tratamientos.

En longitud de vainas por planta se encontró un coeficiente de variabilidad de 0.97%, lo cual significa alta precisión y confiabilidad de los resultados mostrados.

Figura 3.12

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de la longitud promedio de vaina en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.12, observamos que el T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*), T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) y T4 (testigo positivo con urea) tuvo efecto superior en comparación con el testigo absoluto y T2 (*A. brasilense*) alcanzando valores diferentes en la longitud de vaina (8.25, 8.14, 7.03 cm) respectivamente. Es decir, la interacción de ambos tipos de bacterias tuvo efecto relativamente superior y tuvo una diferencia clara en comparación con el resto de los tratamientos. El T2 (*A. brasilense*), solo tuvo efecto intermedio y muy similar al testigo absoluto.

El promedio de longitud de vaina obtenido en el presente estudio (8,25 cm) fue superior a los valores reportados por Escajadillo (2023) para las variedades Remate (6,93 cm) y Usui (6,86 cm) con la inoculación de (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) y labranza de conservación. Esta diferencia podría atribuirse al manejo agronómico, especialmente al método de labranza y al uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR), los cuales optimizan la asimilación de elementos nutritivos y las propiedades físicas del sustrato, potenciando así el desarrollo de la vaina.

Valdez (2017), reportó una longitud promedio de 8.58 cm en las vainas de la variedad Remate. Este valor guarda una estrecha similitud con los registros del presente ensayo, lo que demuestra que las condiciones del medio y las prácticas agrícolas aplicadas fueron las adecuadas para el pleno despliegue genético y crecimiento de la planta.

3.4.5. Rendimiento por hectárea de vaina verde

Tabla 3.8

Análisis de varianza del rendimiento de vaina verde de arveja, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viceae y A. brasilense.

F.V.	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	3	0.72	0.240	0.424	0.7414 ns
Tratamiento	4	22.78	5.70	10.050	0.0008**
Error	12	6.80	0.57		
Total	19	30.30			
C. V. (%):	12.94				

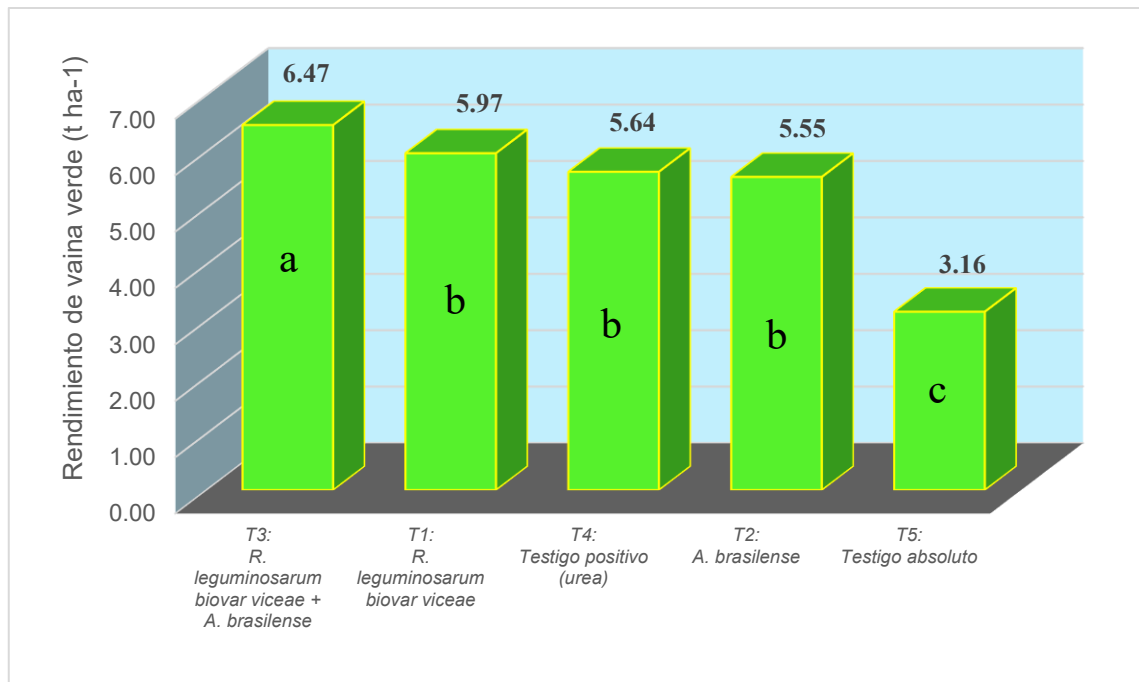
Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

En el análisis de varianza que se muestra (Tabla 3.8) de rendimiento promedio de vaina verde de arveja variedad remate. Según el resultado, se encontró una alta significancia estadística ($0.01 > p^{**}$) en el efecto de los tratamientos. Es decir, los tratamientos tuvieron efecto diferenciado en el rendimiento de vainas. En este caso, los bloques resultaron más homogéneos ($p > 0.05$). Dado que existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, esto sugiere análisis de comparación de medias para identificar los mejores tratamientos.

En rendimiento de vaina verde se encontró un coeficiente de variabilidad de 12.94%, lo cual significa una baja variabilidad, no obstante, se acepta a nivel de campo, por lo que los resultados mostrados son confiables.

Figura 3.13

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del rendimiento promedio de vaina verde en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.13, los resultados indican que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) registró la máxima productividad media de vaina verde, registrando 6,47 t ha⁻¹, lo que representa un incremento del 43,03 % en comparación con el tratamiento T5 (testigo absoluto), que alcanzó 3,16 t ha⁻¹. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento T3 y los tratamientos T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*), T4 (testigo positivo con urea) y T2 (*A. brasilense*), los cuales presentaron rendimientos promedio de 5,97; 5,64 y 5,55 t ha⁻¹, respectivamente.

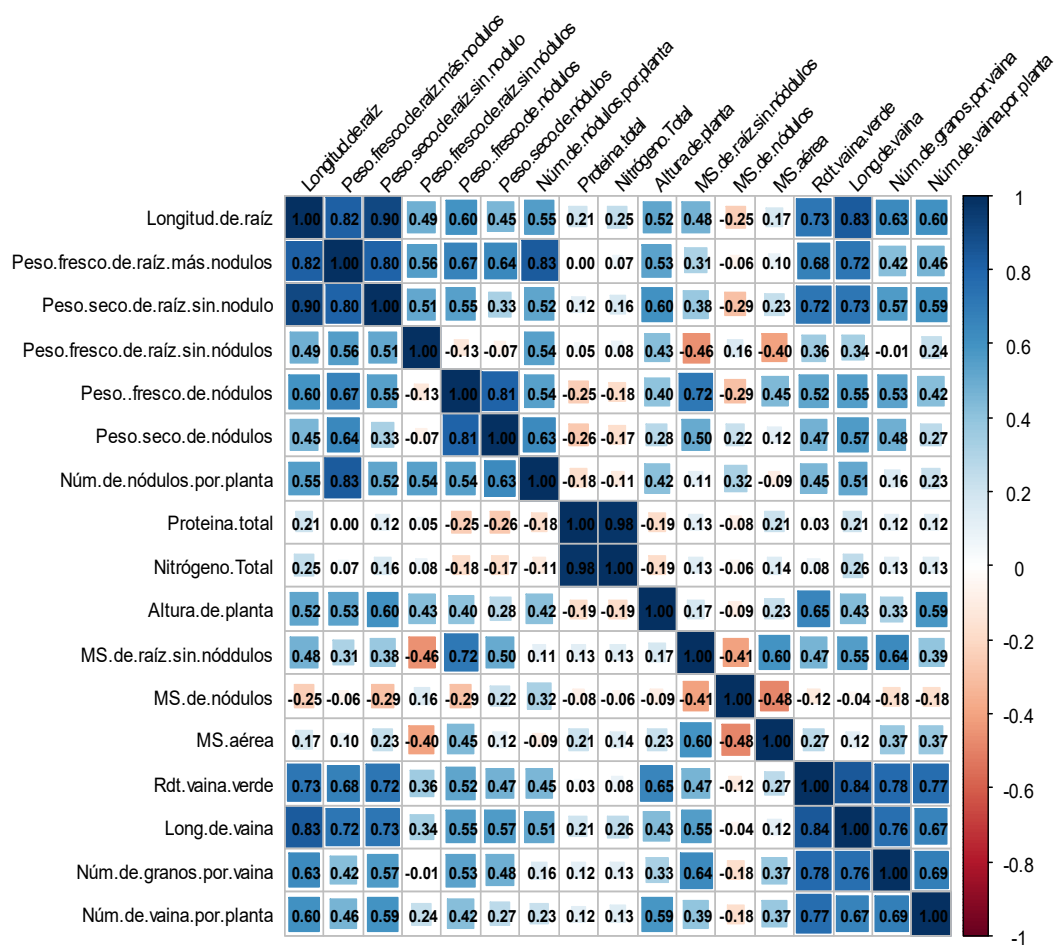
El rendimiento promedio de vaina verde obtenido en el presente estudio (6,47 t ha⁻¹) fue superior al reportado por Escajadillo (2023) para la variedad Remate inoculada únicamente con *R. leguminosarum* biovar *viciae* bajo labranza de conservación (4,19 t ha⁻¹). Esta diferencia podría atribuirse al tipo de inoculación empleada, dado que en esta investigación se utilizó la coinoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*. Ambos microorganismos establecen una asociación simbiótica eficiente con el cultivo, favoreciendo la fijación biológica de nitrógeno y la mejora en la absorción de nutrientes, lo cual se refleja en un mayor rendimiento y una mejor calidad de las vainas.

Ccente (2023) registró una productividad de 4,48t ha⁻¹ en el caso de la variedad Remate mediante la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae*. y un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), valor que resulta inferior al rendimiento obtenido en el presente estudio (6,47 t ha⁻¹). Dicho contraste podría deberse a la variabilidad de las condiciones climáticas y ambientales del lugar, principalmente a la composición y eficacia de los microorganismos empleados en la inoculación. En este estudio, la coinoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense* habría favorecido el desarrollo radicular y aéreo, incrementando la nodulación y la fijación biológica de nitrógeno, así como la producción de fitohormonas y la mitigación del estrés abiótico, lo que se reflejó en mayores rendimientos de vaina verde.

3.5. Correlación de las variables evaluadas

Figura 3.14

Coefficientes de correlación Pearson de las variables evaluadas.



La figura 3.14 muestra la matriz de correlación de Pearson, con la finalidad de mostrar relaciones significativas entre variables claves del cultivo de arveja. Se observa una alta correlación positiva entre el rendimiento de vainas verdes y la longitud de vainas ($r = 0.87$), así como con el número de granos por vaina ($r = 0.82$) y el número de vainas por planta ($r = 0.77$), esto demuestra que la interacción de estas tres variables contribuyó de manera directa en el aumento de la productividad de vainas verdes. Asimismo, el contenido de proteína y nitrógeno total están perfectamente correlacionados ($r = 0.98$), lo cual es esperado, ya que el nitrógeno es un componente principal de las proteínas vegetales. Además, la longitud de raíz muestra fuerte asociación con el peso fresco de raíz más nódulos ($r = 0.82$) y con el peso seco de raíz sin nódulos ($r = 0.65$), lo que sugiere que raíces más largas también promueven a ser más pesadas y posiblemente más eficientes en absorción de agua y nutrientes. En conjunto, estas correlaciones resaltan el importante lazo de la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*, en las características morfológicas y fisiológicas en la productividad del cultivo de arveja variedad Remate.

Asimismo, observamos coeficientes de correlación negativas, lo cual indica una relación inversamente proporcional entre dos variables, por ejemplo: entre materia seca aérea y peso fresco de raíz sin nódulos (-0.46).

3.6. Análisis de rentabilidad económica

3.6.1. Peso neto del rendimiento de vaina verde (kg/ha)

Tabla 3.9

Estimación de rentabilidad del cultivo de arveja variedad remate, bajo el efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum biovar viceae* y *A. brasilense*.

Trt	Descripción	Rdt. (kg/ha)	Precio Unitario (kg)	Costo de prod. (S/.)	Valor bruto de prod. (S/xha)	Valor neto de prod. (S/ x ha)	Rentabilidad (%)
T1	<i>R. leguminosarum bv viciae</i> .	5,970.00	4.8	6,343.61	28,656.00	22,312.39	351.73
T2	<i>A. Brasilense</i>	5,550.00	4.8	5,915.61	26,640.00	20,724.39	350.33
T3	<i>R. leguminosarum bv viciae</i> + <i>A. brasilense</i> .	6,470.00	4.8	6,921.61	32,352.00	25,430.39	367.41
T4	Con N-urea (testigo positivo)	5,640.00	4.8	7,268.81	27,072.00	19,803.19	272.44
T5	Testigo absoluto	3,160.00	4.8	5,712.31	15,168.00	9,455.69	165.69

En la Tabla 3.10 se presenta el valor neto de producción estimado para cada tratamiento. Este indicador se derivó de restar los costos de producción al valor bruto, el cual, a su vez, fue el producto del rendimiento de vaina verde por hectárea y el precio unitario. Para determinar la rentabilidad económica, se utilizó como base el precio medio del canal minorista de S/ 4.8 para la arveja grano verde (MIDAGRI, 2024)." valor promedio de venta en chacra. El mayor valor neto de producción se registró en el tratamiento T3 (inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*), con S/ 25,430.39; en tanto que el menor valor correspondió al tratamiento T5 (testigo absoluto).

En la Tabla 3.10, la estimación de la rentabilidad económica mostró que los tratamientos T1, T2, T3 y T4 presentaron valores positivos, evidenciando la obtención de ganancias. Los mayores niveles de rentabilidad correspondieron a los tratamientos T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*), T2 (*A. brasilense*) y T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*), con valores de 351.73 %, 350.33 % y 367.41%, respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Con la combinación de *R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense* mejoró positivamente los variables evaluados y el rendimiento del cultivo.
2. De acuerdo a los resultados la co-inoculación de los microorganismos en la arveja fue significativamente superior al testigo, alcanzando 6,47 t·ha⁻¹ de vaina verde.
3. Los tratamientos evaluados no mostraron diferencias en porcentajes de nitrógeno y proteína, no obstante, estos superaron al testigo absoluto.
4. En términos económicos, el T3 (*Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* + *Azospirillum brasilense*) demostró ser la alternativa más rentable con una rentabilidad del 367.41% y un ingreso neto de S/ 25,430.39, superando ampliamente a la fertilización nitrogenada convencional (urea), la cual solo alcanzó un 272.44% de rentabilidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda inocular las semillas de arveja con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) a través de la inoculación individual o combinada de *R. leguminosarum biovar viciae*. y *A. brasilense*, como una práctica agronómica para optimizar la calidad y el rendimiento de las vainas en distintas variedades y ambientes ecológicos, promoviendo así una producción más eficiente y sostenible.
- Fomentar la investigación y capacitación sobre la aplicación de bacterias PGPR y otros microorganismos en otros cultivos relevantes de la región, debido a sus beneficios para la agricultura sostenible.
- Incentivar y promover la utilización de *Rhizobium* spp. y *Azospirillum* spp, y otros microorganismos en sistemas agrícolas, dada su capacidad para disminuir los costos de producción, mejorar la fertilidad del suelo y mitigar el impacto ambiental asociado a las prácticas agrícolas convencionales.
- Se sugiere intensificar la investigación en la coinoculación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*, a incluir no solo parámetros de crecimiento y rendimiento, sino también aspectos fisiológicos y moleculares que explican la interacción sinérgica entre ambos microorganismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alpizar, M. (2018). *Respuesta de la coinoculación de Rhizobium y Azospirillum y la adición de molibdeno en frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Tesis de pregrado, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Briones, A., Medina, A., Yoshino, M., Morita, T., & Maruyama, H. (2016). *Guía de producción comercial de arveja, basado en el trabajo del Proyecto IEPARC* (1.^a ed.).
- Caffa, J., & Bernardin, S. (2006). El ciclo del nitrógeno: La fijación del nitrógeno. *Microbiología Ambiental*, 2.
- Camarena, M. (2003). *Manual del cultivo de arveja*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Camasca, A. (1994). *Horticultura práctica*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Campos, A. (1992). *Aspectos botánicos y agronómicos de la arveja y haba*. Misión Agrícola de la Universidad de Carolina del Norte, Áncash, Perú.
- Ccente, D. (2023). *Rhizobium y consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el rendimiento de vaina verde de dos variedades de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Chaupin, J. (2024). *Efecto de Rhizobium leguminosarum biovar viciae en el rendimiento de variedades y accesiones de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Checa, O., Rodríguez, D., Ruiz, M., & Muriel, J. (2021). *La arveja: Investigación y tecnología en el sur de Colombia* (1.^a ed.). Editorial Universidad de Nariño, Colombia.
- Cubillos, J., Saccol, E., Westphal, A., & Pinheiro, D. (2024). Aplicación combinada de sustancias húmicas y PGPR en plantas de *Phaseolus lunatus* y *Leucaena leucocephala*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 18(2), e17621.
- De Bernardi, L. A. (2017). *Perfil de la arveja (Pisum sativum L.)*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina.

- Ejaza, S., Batoola, S., Akbar, M., Naza, S., Farooq, M., Tahir, N., Hussain, K., & Alia, S. (2020). Efectos de la inoculación de cepas asociativas a la raíz de *Azospirillum* y *Agrobacterium* en guisante (*Pisum sativum* L.). *Scientia Horticulturae*, 270.
- Escajadillo, P. (2023). *Influencia del Rhizobium y labranza de conservación en la producción de arveja verde (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Felipe, R. (2009). *Biotechnologías limpias en agricultura: Fijación biológica de nitrógeno*. CSIC, España.
- Fernández, C., Cecato, U., Trento, T., Duarte, D., Mamédio, D., & Galbaeiro, S. (2020). *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 223–240.
- Flores, M. (2009). *Respuesta del cultivo de arveja (Pisum sativum L.) a la aplicación complementaria de tres fertilizantes foliares a base de algas marinas en tres dosis*. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador, San Gabriel–Carchi, Ecuador.
- Fukami, J., Cerezini, P., & Hungria, M. (2018). *Azospirillum*: Beneficios que van mucho más allá de la fijación biológica de nitrógeno. *AMB Express*, 8, 73.
- García-Blázquez, M. C., & Sato, M. (2019). Técnicas de aislamiento, identificación y selección de cepas de *Rhizobium* y *Azospirillum* y producción de inoculantes. *Revista de Investigación UNSCH*, 27(1).
- Guzmán, D., & Montero, J. (2021). Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87–101.
- Hernández, M., Terry, C., & Almogoea, M. (2015). Uso de *Azospirillum* spp. en la agricultura. *Agroecosistemas*, 3(1), 401–413.
- Hernández, L. G., & Escalona, M. A. (2003). Microorganismos que benefician a las plantas: Las bacterias PGPR. *La Ciencia y el Hombre*, (1), 29–32.
- Hurtado, A., Pérez, Y., Quintero, E., Olivera, D., & Peña, K. (2019). Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 295–322.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Estación Experimental Agraria Santa Ana-Huancayo. (2004). INIA 103 - Remate: *Nueva variedad de arveja*. Tríptico

- técnico, Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Lima, Perú.
<https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/669>
- León, S. (1998). *Prueba de rendimiento de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Leyva, L. A. (2006). *Efecto del ácido glucónico sobre la actividad de las enzimas encargadas de su metabolismo en la bacteria promotora de crecimiento Azospirillum brasilense Cd asociada a plantas de mezquite (Prosopis articulata S. Watson)*. Tesis de grado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, México.
- Lonazco, K. M. (2022). *Coinoculación con Bradyrhizobium y Azospirillum en el rendimiento y calidad de ecotipos de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- López, E. N. T. (2021). *Rendimiento de tres variedades de arveja (Pisum sativum L.) en vaina verde con tres modalidades de siembra en Huari, Áncash*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- López, J., Lépiz, R., González, D., Rodríguez, R., López, E., & Olalde, V. (2017). Caracterización morfológica y bioquímica de cepas de *Rhizobium* colectadas en frijol común silvestre y domesticado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1), 73–81.
- Maroto, J. V. (2000). *Horticultura herbácea especial* (4.ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Mayz, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO Agrícola*, 4(1), 1–20.
- Mendoza, A., Reyero, R., & Valdés, O. (2025). Impacto de la disponibilidad de fosfato en la simbiosis entre leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno. *Bioc Scientia*, 1(1).
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2016). *Leguminosas de grano: Semillas nutritivas para un futuro sostenible*. GALU GRAF S.A.C., Lima, Perú.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2024). *Precios en ciudades: Mercados mayoristas y minoristas - Arveja Grano Verde en Ayacucho*. Sistema de Información de Abastecimiento y Precios (SISAP).
- Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval, J. A., Martínez-Campos, A. R., & Morales-Rosales, E. J. (2019). Urea (NBPT) como alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1875–1886.

- Moreno, C., Sandoval, M., Barrios, J., & Daza, H. (2010). Evaluación del crecimiento de arveja (*Pisum sativum L.*) bajo el efecto de la inoculación con *Rhizobium* en diferentes concentraciones. *Revista Científica Agropecuaria*.
- Muñoz, J. (2018). *Inoculación, micronutrientes y extracto de alga nativa en el rendimiento de variedades de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Nápoles, M. (2021). *Inducción de señales en Rhizobium leguminosarum bv. viciae y su actividad biológica en arveja (Pisum sativum L.)*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba.
- Nardo, N. (2020). *Efecto de la inoculación con Rhizobium leguminosarum y la fertilización en la nodulación y producción del cultivo de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Pérez, M., Tobar, J., Quispe, S., Yáñez, J., & Chicaiza, J. (2025). Influencia de la biofertilización en el rendimiento de arveja (*Pisum sativum L.*) de crecimiento indeterminado, variedad San Isidro. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*, 8(15), 99–109.
- Quispe, E. (2018). *Abonamiento orgánico e inoculación en el rendimiento de variedades de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Rodiño, A., Santalla, M., & De Ron, A. (2004). *Fertilización biológica del guisante: Simbiosis Rhizobium leguminosarum–Pisum sativum*. Misión Biológica de Galicia, CSIC, Pontevedra, España.
- Ruiz, M. (2024). *Densidad de siembra e inoculación con Rhizobium sp. en el rendimiento de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Saavedra del Río, G., & Kehr, E. (2023). *Manejo y especies hortícolas aptas para la agroindustria en la Región de La Araucanía*. Boletín INIA N.º 472, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Temuco, Chile.
- Segovia, L. P. (1991). *Taxonomía y filogenia de cepas de Rhizobium leguminosarum*. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., México.

- Soto, J., Borbor, G., & Borbor, V. (2012). Identificación y caracterización de cepas nativas de *Rhizobium* en la provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 1(1).
- Soto, J., Ormeño, E., & Zúñiga, D. (2021). Diversidad de rizobios y fijación biológica de nitrógeno en aislados de *Clitoria brachystegia*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92.
- Suasnabar, C., Marmolejo, D., Torres, G., Munive, R., Valverde, A., & Gamarra, G. (2021). *Cultivo de arveja* (1.^a ed.). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Tapia, M. E., y Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú (ANPE).
- Tamaro, D. (1960). *Manual de horticultura* (5.^a ed.). Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España.
- Tipán, B. (2014). *Evaluación de la fijación de nitrógeno de cepas de Rhizobium spp. en arveja, chocho, frijol, haba y vicia*. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador, Pichincha, Ecuador.
- Trujillo, E. N. (2021). *Rendimiento de tres variedades de arveja (Pisum sativum L.) en vaina verde con tres modalidades de siembra en Huari, Áncash*. Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Uceda, J., Quiroz, J., & Hernández, J. (2020). Impacto de *Azospirillum brasilense* como rizobacteria promotora del crecimiento vegetal en cultivos agrícolas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1).
- Valdez, N. (2017). *Rendimiento en vaina verde de variedades de arveja (Pisum sativum L.) con y sin tutor*. Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Costos de producción T1

ACTIVIDADES	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (S/)	Sub Total por Actividad (S/)
COSTOS DIRECTOS				5,723.00
				5,723.00
PREPARACIÓN DEL TERENO				745.00
Limpieza del terreno	Jornal	0.5	50.00	25.00
Aradura	HM	4	70.00	280.00
Rastra o mullido	HM	2	70.00	140.00
Surcado	Jornal	6	50.00	300.00
PROCESO TRASPLANTE Y ABONADO				300.00
Inoculación	Jornal	1	50.00	50.00
Siembra	Jornal	5	50.00	250.00
LABORES CULTURALES				2,900.00
Riego por goteo por campaña (global)	Jornal	10	50.00	500.00
Control de arvenses y escarda	Jornal	10	50.00	500.00
Tutorado	Jornal	5	50.00	250.00
Control fitosanitario	Jornal	3	50.00	150.00
Primera cosecha mas estibado	Jornal	15	50.00	750.00
Segunda cosecha mas estibado	Jornal	15	50.00	750.00
INSUMOS				852.00
Control fitosanitario				
Insecticida inorgánico	L	2	28.00	56.00
Fungicida orgánico	L	2	28.00	56.00
Compra de semillas				
Semillas variedad remate	kg	70.00	10.00	700.00
Inoculantes				
Inoculantes <i>Rhizobium</i>	kg	2.00	20.00	40.00
MATERIALES Y EQUIPOS				926.00
Mantas	und	10	2.50	25.00
Costales	und	10	2.50	25.00
Pitas	und	10	1.50	15.00
Mochila fumigadora	und	1	350.00	350.00
Azadones	und	2	18.00	36.00
Carrizo	Atado	2	50.00	100.00
Estacas	und	80	1.00	80.00
Alambre de tendion N° 16	kg	3	8.00	24.00
Triplay	und	1	22.00	22.00
Pintura	und	10	10.00	100.00
Cordel	m	200	0.30	60.00
Nylon	und	1	16.00	16.00
Wincha	und	1	8.00	8.00
Flexómetro de 50 m	und	1	35.00	35.00
Rafia	Paquetes	2	15.00	30.00
COSTOS INDIRECTOS				620.61
Análisis del suelo	und	1	70.00	70.00
Análisis del inoculantes	und	3	50.00	150.00
Gastos administrativos 5% CD			5%	286.15
Imprevistos 2% CD			2%	114.46
COSTOS TOTALES				6,343.61

Anexo 2. Costos de producción T2

ACTIVIDADES	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS				5,323.00
				5,323.00
PREPARACIÓN DEL TERENO				745.00
Limpieza del terreno	Jornal	0.5	50.00	25.00
Aradura	HM	4	70.00	280.00
Rastra o mullido	HM	2	70.00	140.00
Surcado	Jornal	6	50.00	300.00
PROCESO TRASPLANTE Y ABONADO				300.00
Inoculación	Jornal	1	50.00	50.00
Siembra	Jornal	5	50.00	250.00
LABORES CULTURALES				2,500.00
Riego por goteo por campaña (global)	Jornal	10	50.00	500.00
Control de arvenses y escarda	Jornal	10	50.00	500.00
Tutorado	Jornal	5	50.00	250.00
Control fitosanitario	Jornal	3	50.00	150.00
Primera cosecha mas estibado	Jornal	10	50.00	500.00
Segunda cosecha mas estibado	Jornal	12	50.00	600.00
INSUMOS				852.00
Control fitosanitario				
Insecticida inorgánico	L	2	28.00	56.00
Fungicida orgánico	L	2	28.00	56.00
Compra de semillas				
Semillas variedad remate	kg	70.00	10.00	700.00
Inoculantes				
Inoculantes <i>Azospirillum</i>	kg	2.00	20.00	40.00
MATERIALES Y EQUIPOS				926.00
Mantas	und	10	2.50	25.00
Costales	und	10	2.50	25.00
Pitas	und	10	1.50	15.00
Mochila fumigadora	und	1	350.00	350.00
Azadones	und	2	18.00	36.00
Carrizo	Atado	2	50.00	100.00
Estacas	und	80	1.00	80.00
Alambre de tendion N° 16	kg	3	8.00	24.00
Triplay	und	1	22.00	22.00
Pintura	und	10	10.00	100.00
Cordel	m	200	0.30	60.00
Nylon	und	1	16.00	16.00
Wincha	und	1	8.00	8.00
Flexómetro de 50 m	und	1	35.00	35.00
Rafia	Paquetes	2	15.00	30.00
COSTOS INDIRECTOS				592.61
Analisis del suelo	und	1	70.00	70.00
Analisis del inoculantes	und	3	50.00	150.00
Gastos administrativos 5% CD			5%	266.15
Imprevistos 2% CD			2%	106.46
COSTOS TOTALES				5,915.61

Anexo 3. Costos de producción T3

ACTIVIDADES	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS				6,263.00
				6,263.00
PREPARACIÓN DEL TERENO				745.00
Limpieza del terreno	Jornal	0.5	50.00	25.00
Aradura	HM	4	70.00	280.00
Rastra o mullido	HM	2	70.00	140.00
Surcado	Jornal	6	50.00	300.00
PROCESO TRASPLANTE Y ABONADO				300.00
Inoculación	Jornal	1	50.00	50.00
Siembra	Jornal	5	50.00	250.00
LABORES CULTURALES				3,400.00
Riego por goteo por campaña (global)	Jornal	10	50.00	500.00
Control de arvenses y escarda	Jornal	10	50.00	500.00
Tutorado	Jornal	5	50.00	250.00
Control fitosanitario	Jornal	3	50.00	150.00
Primera cosecha mas estibado	Jornal	20	50.00	1,000.00
Segunda cosecha mas estibado	Jornal	20	50.00	1,000.00
INSUMOS				892.00
Control fitosanitario				
Insecticida inorgánico	L	2	28.00	56.00
Fungicida orgánico	L	2	28.00	56.00
Compra de semillas				
Semillas variedad remate	kg	70.00	10.00	700.00
Inoculantes				
Inoculantes <i>Rhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>	kg	4.00	20.00	80.00
MATERIALES Y EQUIPOS				926.00
Mantas	und	10	2.50	25.00
Costales	und	10	2.50	25.00
Pitas	und	10	1.50	15.00
Mochila fumigadora	und	1	350.00	350.00
Azadones	und	2	18.00	36.00
Carrizo	Atado	2	50.00	100.00
Estacas	und	80	1.00	80.00
Alambre de tendion N° 16	kg	3	8.00	24.00
Triplay	und	1	22.00	22.00
Pintura	und	10	10.00	100.00
Cordel	m	200	0.30	60.00
Nylon	und	1	16.00	16.00
Wincha	und	1	8.00	8.00
Flexómetro de 50 m	und	1	35.00	35.00
Rafia	Paquetes	2	15.00	30.00
COSTOS INDIRECTOS				658.41
Análisis del suelo	und	1	70.00	70.00
Análisis del inoculantes	und	3	50.00	150.00
Gastos administrativos 5% CD			5%	313.15
Imprevistos 2% CD			2%	125.26
COSTOS TOTALES				6,921.41

Anexo 4. Costos de producción T4

ACTIVIDADES	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS				6,583.00
				6,583.00
PREPARACIÓN DEL TERENO				745.00
Limpieza del terreno	Jornal	0.5	50.00	25.00
Aradura	HM	4	70.00	280.00
Rastra o mullido	HM	2	70.00	140.00
Surcado	Jornal	6	50.00	300.00
PROCESO TRASPLANTE Y ABONADO				300.00
Inoculación	Jornal	1	50.00	50.00
Siembra	Jornal	5	50.00	250.00
LABORES CULTURALES				3,200.00
Riego por goteo por campaña (global)	Jornal	10	50.00	500.00
Control de arvenses y escarda	Jornal	10	50.00	500.00
Tutorado	Jornal	5	50.00	250.00
Control fitosanitario	Jornal	3	50.00	150.00
Primera cosecha mas estibado	Jornal	18	50.00	900.00
Segunda cosecha mas estibado	Jornal	18	50.00	900.00
INSUMOS				1,412.00
Control fitosanitario				
Insecticida inorgánico	L	2	28.00	56.00
Fungicida orgánico	L	2	28.00	56.00
Compra de semillas				
Semillas variedad remate	kg	70.00	10.00	700.00
Fertilizante				
Urea testigo positivo	sacos	4.00	150.00	600.00
MATERIALES Y EQUIPOS				926.00
Mantas	und	10	2.50	25.00
Costales	und	10	2.50	25.00
Pitas	und	10	1.50	15.00
Mochila fumigadora	und	1	350.00	350.00
Azadones	und	2	18.00	36.00
Carrizo	Atado	2	50.00	100.00
Estacas	und	80	1.00	80.00
Alambre de tendion N° 16	kg	3	8.00	24.00
Triplay	und	1	22.00	22.00
Pintura	und	10	10.00	100.00
Cordel	m	200	0.30	60.00
Nylon	und	1	16.00	16.00
Wincha	und	1	8.00	8.00
Flexómetro de 50 m	und	1	35.00	35.00
Rafia	Paquetes	2	15.00	30.00
COSTOS INDIRECTOS				680.81
Análisis del suelo	und	1	70.00	70.00
Análisis del inoculantes	und	3	50.00	150.00
Gastos administrativos 5% CD			5%	329.15
Imprevistos 2% CD			2%	131.66
COSTOS TOTALES				7,263.81

Anexo 5. Costos de producción T5

ACTIVIDADES	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Sub Total por Actividad (S/.)
COSTOS DIRECTOS				5,133.00
				5,133.00
PREPARACIÓN DEL TERENO				745.00
Limpieza del terreno	Jornal	0.5	50.00	25.00
Aradura	HM	4	70.00	280.00
Rastra o mullido	HM	2	70.00	140.00
Surcado	Jornal	6	50.00	300.00
PROCESO SIEMBRA Y ABONADO				250.00
Siembra	Jornal	5	50.00	250.00
LABORES CULTURALES				2,400.00
Riego por goteo por campaña (global)	Jornal	10	50.00	500.00
Control de arvenses y escarda	Jornal	10	50.00	500.00
Tutorado	Jornal	5	50.00	250.00
Control fitosanitario	Jornal	3	50.00	150.00
Primera cosecha mas estibado	Jornal	10	50.00	500.00
Segunda cosecha mas estibado	Jornal	10	50.00	500.00
INSUMOS				812.00
Control fitosanitario				
Insecticida inorgánico	L	2	28.00	56.00
Fungicida orgánico	L	2	28.00	56.00
Compra de semillas				
Semillas variedad remate	kg	70.00	10.00	700.00
MATERIALES Y EQUIPOS				926.00
Mantas	und	10	2.50	25.00
Costales	und	10	2.50	25.00
Pitas	und	10	1.50	15.00
Mochila fumigadora	und	1	350.00	350.00
Azadones	und	2	18.00	36.00
Carrizo	Atado	2	50.00	100.00
Estacas	und	80	1.00	80.00
Alambre de tendion N° 16	kg	3	8.00	24.00
Triplay	und	1	22.00	22.00
Pintura	und	10	10.00	100.00
Cordel	m	200	0.30	60.00
Nylon	und	1	16.00	16.00
Wincha	und	1	8.00	8.00
Flexómetro de 50 m	und	1	35.00	35.00
Rafia	Paquetes	2	15.00	30.00
COSTOS INDIRECTOS				579.31
Analisis del suelo	und	1	70.00	70.00
Analisis del inoculantes	und	3	50.00	150.00
Gastos administrativos 5% CD			5%	256.65
Imprevistos 2% CD			2%	102.66
COSTOS TOTALES				5,712.31

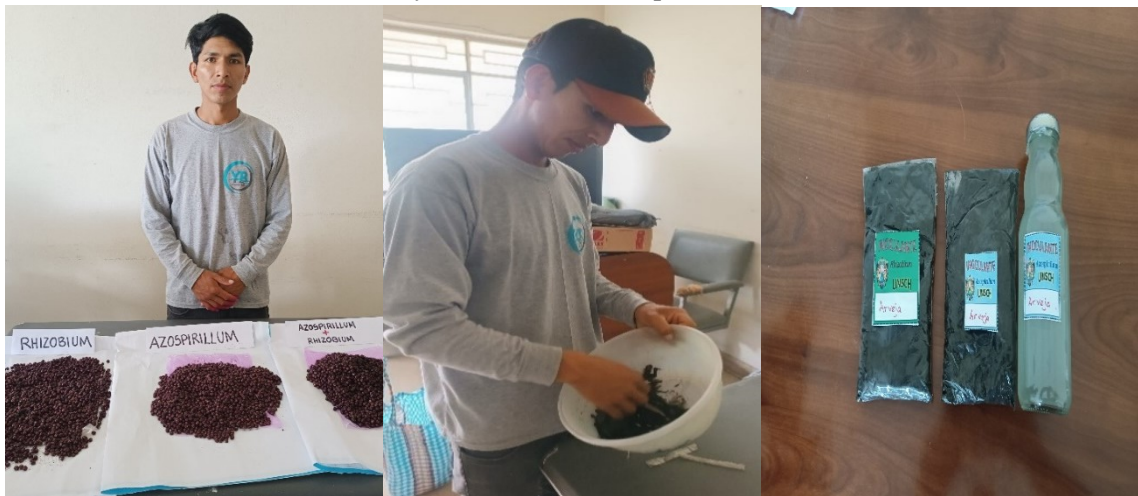
Anexo 6. Fotografías del % germinación, inoculación, preparación del terreno, instalación, labores culturales, cosecha y evaluación.



Lámina 01. Evaluación del porcentaje de germinación en semillas de arveja (*Pisum sativum*) variedad Remate, establecidas en el área de estudio.



Lámina 02. Tratamiento sanitario y determinación del peso de las semillas con Vitavax – 300



Lamina 03. Preparación e inoculación con los microorganismos de *Rhizobium spp.* y *Azospirillum spp.* en las semillas.



Lamina 04. Pesado de fertilizantes de los tratamientos.



Lamina 05. El surcado y trazado para la instalación del experimento.



Lamina 06. La delimitación del terreno



Lamina 07. Siembra de la arveja variedad Remate, con fertilizante de fondo.



Lamina 08. Colocación del banner y la codificación de los tratamientos.



Lamina 09. El deshierbe después de 30 días de emergencia.



Lamina 10. Fraccionamiento de la urea para el aporque.



Lamina 11. Control de la enfermedad la chupadera fungosa (*Rizoctonia solani*).



Lamina 12. Las plantas en plena floración.



Lamina 13. Obtención de muestras para la evaluación en el laboratorio.



Lamina 14. Las muestras para su evaluación de los variables.



Lamina 15. Determinación del porte de la planta.



Lamina 16. Evaluación de la nodulación.



Lamina 17. Evaluación a nivel radicular y nodular en el laboratorio.



Lamina 18. Evaluación de Leg-hemoglobina de los nódulos.



Lamina 19. El secado de las muestras en estufa.



Lamina 20. La nodulación y desarrollo de la raíz en los tratamientos.



Lamina 21. El pesado de la materia seca.



Lamina 22. El número de vainas por tratamiento.



Lamina 23. Pesado de las vainas.



Lamina 24. Las muestras de materia seca.



Lamina 25. Lugar de desarrollo del estudio del trabajo de investigación.



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. ENRIQUE BELLIDO TENORIO
R.D. N° 063-2026-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho, a los ocho días del mes de mayo del año dos mil veintiséis, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva, M.Sc. Alejandro Camasca Vargas como asesor, M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo y el Ing. Edgar Tenorio Mancilla; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Inoculación individual e interacción de Rhizobium y Azospirillum en el rendimiento en vainas verdes de arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate a 2750 msnm, Ayacucho**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por el Bachiller **ENRIQUE BELLIDO TENORIO**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó 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
Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva	16	15	16	16
M.Sc. Alejandro Camasca Vargas	17	14	16	16
M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo	15	15	15	15
Ing. Edgar Tenorio Mancilla	16	16	16	16
PROMEDIO GENERAL				16

OBSERVACION: Por acuerdo unánime de los miembros del jurado, el título del trabajo de investigación debe ser: **Inoculación de Rhizobium y Azospirillum en el rendimiento en vaina verde de arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate a 2750 msnm, Ayacucho**

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



Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva
 Presidente



M.Sc. Alejandro Camasca Vargas
 Asesor



M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo
 Jurado



Ing. Edgar Tenorio Mancilla
 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 operativizar, 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 R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado;

Inoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* en el rendimiento en vaina verde de arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate a 2750 msnm, Ayacucho

Autor : Enrique BELLIDO TENORIO
Asesor : Alejandro CAMASCA VARGAS

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de dieciocho por ciento **(18%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

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

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 2979100958

Ayacucho, 8 de junio de 2026



.....

Angela J. Requis Quintanilla
M.Sc. en Fitopatología
E.P. Agronomía
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Inoculación de Rhizobium y Azospirillum en el rendimiento en vaina verde de arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate a 2750 msnm, Ayacucho

por Enrique BELLIDO TENORIO

Fecha de entrega: 08-jun-2026 10:20a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2979100958

Nombre del archivo: TESIS_ENRIQUE_BELLIDO_TENORIO_EPA.pdf (7.49M)

Total de palabras: 23417

Total de caracteres: 129263

Inoculación de Rhizobium y Azospirillum en el rendimiento en vaina verde de arveja (Pisum sativum L.) – variedad Remate a 2750 msnm, Ayacucho

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	5%
3	sired.udenar.edu.co Fuente de Internet	1%
4	www.ecoportat.net Fuente de Internet	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	publicacionescd.ulead.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	Oscar Mamani Flores, Marcela Daniela Mollericona Alfaro. "Bioestimulantes en portainjertos de cítricos en fase inicial de vivero, Estación Experimental Sapecho – La Paz", Revista Apthapi, 2023 Publicación	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
16	www.smcsmx.org Fuente de Internet	<1 %
17	Mickaël Boyer, René Bally, Sandrine Perrotto, Clémence Chaintreuil, Florence Wisniewski-Dyé. "A quorum-quenching approach to identify quorum-sensing-regulated functions	<1 %

in Azospirillum lipoferum", Research in Microbiology, 2008

Publicación

18

revistacta.agrosavia.co

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Inoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* en el rendimiento en vaina verde de arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate a 2750 msnm, Ayacucho

Inoculation of *Rhizobium* and *Azospirillum* in the yield of green pea pods (*Pisum sativum* L.) – Remate variety at 2750 masl, Ayacucho

Enrique Bellido Tenorio
Alejandro Camasca Vargas

enrique.bellido.01@unsch.edu.pe
alejandro.camasca@unsch.edu.pe

Área de investigación: Medio ambiente
Línea de investigación: Sistema de producción agrícola

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Estación Experimental Agraria Canaán (INIA), ubicada a una altitud de 2750 metros dentro del distrito de Andrés Avelino Cáceres, en la provincia de Huamanga, región Ayacucho; campaña agrícola del 2024, con el objetivo de evaluar la influencia de la inoculación individual y combinada de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en la capacidad simbiótica, rendimiento, calidad y rentabilidad económica del rendimiento de vainas verdes de la arveja (*Pisum sativum* L.). Se utilizó el Diseño de Bloque Completo Randomizado (DBCR), el experimento se estructuró con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, lo que resultó en un total de 20 unidades experimentales. Se realizó el estudio sobre el efecto de la inoculación individual y combinada de los microorganismos *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en arveja., tratamiento con fertilizante nitrogenado (urea) y un testigo absoluto. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANVA) y a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento que presentó el mayor rendimiento de vainas verdes fue la combinación *R. leguminosarum biovar viciae*. + *A. brasilense*., con 6.47 t ha⁻¹, seguido del tratamiento con *R. leguminosarum biovar viciae*., con 5.97 t ha⁻¹. La inoculación con *A. brasilense*. favoreció significativamente parámetros morfofisiológicos relacionados con el desarrollo radicular, como la longitud de raíz, el peso fresco de raíz más nódulo, peso seco de raíz sin nódulos y la materia seca radicular sin nódulos. En cuanto a la nodulación, el tratamiento con *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*. evidenció un mayor número de nódulos por planta, además de superior peso fresco y peso seco de nódulos. Asimismo, el uso combinado de ambos microorganismos potenció significativamente variables de crecimiento y rendimiento, tales como la altura de la planta, la longitud y cantidad de vainas, el número de granos por vaina y la materia seca sin vainas. También se observaron mayor intensidad de coloración de la leg - hemoglobina en los nódulos, los contenidos de nitrógeno y proteína total en los granos de arveja, indicadores clave de la eficiencia en la fijación biológica de nitrógeno y calidad nutricional del cultivo.

Palabras clave: *R. leguminosarum biovar viciae*, *A. brasilense*, inoculación, arveja, PGPR..

ABSTRACT

The study was carried out at the facilities of the Canaán Agrarian Experimental Station (INIA), located at an altitude of 2750 meters within the Andrés Avelino Cáceres district, in the province of Huamanga, Ayacucho region; agricultural campaign of 2024, with the objective of evaluating the influence of the individual and combined inoculation of *R. leguminosarum biovar viciae* and *A. brasilense* on the symbiotic capacity, yield, quality and economic profitability of the yield of green pods of the pea (*Pisum sativum* L.). The Randomized Complete Block Design (DBCR) was used; the experiment was structured with five treatments and four repetitions, resulting in a total of 20 experimental units. The study was carried out on the effect of individual and combined inoculation of the microorganisms *R. leguminosarum biovar viciae* and *A. brasilense* in peas, treatment with nitrogen fertilizer (urea) and an absolute control. The data obtained were subjected to analysis of variance (ANVA) and Tukey's multiple comparisons test to determine significant differences between treatments. The treatment that presented the highest yield of green pods was the *R. leguminosarum biovar viciae* combination. + *A. brasilense*., with 6.47 t ha⁻¹, followed by treatment with *R. leguminosarum biovar viciae*., with 5.97 t ha⁻¹. Inoculation with *A. brasilense*. significantly favored morphophysiological parameters related to root development, such as root length, fresh weight of root plus nodule, dry weight of root without nodules and root dry matter without nodules. Regarding nodulation, treatment with *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*. showed a greater number of nodules per plant, in addition to higher fresh weight and dry weight of nodules. Likewise, the combined use of both microorganisms significantly enhanced growth and yield variables, such as plant height, length and number of pods, number of grains per pod and dry matter without pods. Greater intensity of leg - hemoglobin coloration in the nodules, nitrogen and total protein contents in pea grains were also observed, key indicators of the efficiency in biological nitrogen fixation and nutritional quality of the crop.

Keywords: *R. leguminosarum biovar viciae*, *A. brasilense*, inoculation, pea, PGPR.

I. INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una planta herbácea perteneciente a la familia de las leguminosas (Fabaceae), de hábito trepador, originaria de la cuenca mediterránea, aunque actualmente se encuentra ampliamente distribuida en todo el mundo. Este cultivo es valorado por su alto contenido nutricional, incluyendo proteínas, minerales y vitaminas. Originaria del Mediterráneo, Oriente Medio y el sudoeste asiático, esta planta se ha dispersado globalmente, adaptándose con facilidad a los climas templados y a las regiones de gran altitud (Suasnabar et al., 2021).

Según Tapia y Fries (2007), menciona que los españoles fueron quienes introdujeron la arveja al Perú junto al trigo y la cebada, se integró en los sistemas agrícolas de la región Suni como un cultivo clave en la rotación de suelos para preservar su fertilidad y garantizar la alimentación de las familias altoandinas. Actualmente, el cultivo se distribuye en las regiones de la sierra y la costa del país. A lo largo del litoral, las zonas de mayor producción abarcan Cajamarca, La Libertad y Áncash. Con respecto a la sierra central, las jurisdicciones que lideran la cosecha son Tarma, Jauja, Huancayo, Huánuco, Huancavelica y Ayacucho. Finalmente, en el sector sureño, la siembra se localiza en Paucartambo, Paruro y en varios distritos del departamento de Arequipa.

Según el Instituto de Innovación Agraria (INIA, 2024), estudios realizados sobre el cultivo de arveja, se ha desarrollado y seleccionado un nuevo cultivar denominado INIA 103 Remate. Este cultivar destaca por su elevada adaptabilidad a diversas condiciones agroclimáticas presentes en el Perú, lo que le permite una buena capacidad de crecimiento en distintas regiones del país. En cuanto a su rendimiento presenta un promedio de producción de 6.3 toneladas por hectárea de vaina verde y 1.6 toneladas por hectárea en grano seco. Específicamente, en la región de Ayacucho, se reporta un rendimiento promedio de 3.500 a 4.500 kg/ha en grano verde y 800 a 1000 kg/ha en grano seco, reflejando la variabilidad productiva según la zona y las condiciones locales.

La relevancia de esta investigación se centra en generar evidencia que valide el empleo de inoculantes basados en bacterias específicas, diseñadas para la fijación del nitrógeno atmosférico (FBN) como, *R. leguminosarum biovar viciae* y promotores del crecimiento

vegetal (PGPR), *A. brasilense*, incrementen la productividad en el beneficio del productor.

La interacción positiva y beneficiosa en el cultivo de arveja promueve una agricultura sostenible y respetuosa con el entorno, fortaleciendo al mismo tiempo la seguridad alimentaria de los hogares. Bajo esta premisa, se llevó a cabo este estudio, el cual plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la influencia de la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en la capacidad simbiótica, rendimiento, calidad y rentabilidad económica en vainas verdes de la arveja (*Pisum sativum* L.) – variedad Remate a 2750 msnm, Ayacucho.

Objetivos específicos

1. Evaluar la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* sobre la capacidad simbiótica de la arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate.
2. Evaluar la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* sobre el rendimiento de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate.
3. Evaluar la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en la calidad de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate.
4. Evaluar la inoculación individual y la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* en la rentabilidad de vaina verde de la arveja (*Pisum sativum* L.) - variedad Remate.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Estación Experimental Agraria Canaán - INIA, ubicada a una altitud de 2750 m s. n.m. en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray (Huamanga, Ayacucho). Asimismo, la fase analítica se desarrolló en el laboratorio AD - 206 del proyecto UNSCH – FOCAM, adscrito a la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en el distrito de Ayacucho. Toda la investigación se circunscribió geográficamente entre las coordenadas 13° 10' 05" Latitud Sur y 74° 12' 14" Longitud Oeste.

¹ Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Perú

2.2. Materiales y equipos

- Semillas de arveja (variedad Remate)
- Inoculante a base de bacterias *Rhizobium leguminosarum* biovar viciae
- Inoculante a base de bacterias *Azospirillum brasilense*
- Desinfectantes
- Bandejas germinadoras
- Herramientas y equipos agrícolas
- Cámara digital
- Libreta de campo
- Regla
- Flexómetro
- Estacas
- Carrizo
- Bolígrafo
- Rafia
- Bolsas de plástico
- Estufa
- Balanza digital

2.3. Microorganismos en estudio

- *Rhizobium leguminosarum* biovar viciae
- *Azospirillum brasilense*

2.4. Factores del estudio

Los factores considerados son:

2.4.1. Variedad de arveja (V)

- V1: Remate

2.4.2. Inoculante y fertilización (A)

- A1: Inoculación con *R. leguminosarum* biovar viciae soporte a base de turba.
- A2: Inoculación con *A. brasilense* en formulación líquida.
- A3: Co-inoculación con *R. leguminosarum* biovar viciae y *A. brasilense*
- A4: Sin inoculante con fertilización nitrogenada – urea (Testigo positivo)
- A5: Sin inoculante sin fertilización nitrogenada – (Testigo absoluto)

2.5. Tratamientos

Son el resultado de la combinación de los factores como la variedad de arveja (V) e inoculaciones e interacciones de *R. leguminosarum* biovar viciae y *A. brasilense* (A), testigo positivo (N: Urea) y testigo absoluto (solo cultivo).

2.6. Diseño experimental

El análisis de los datos se regirá bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). El comportamiento de las variables se explicará mediante el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable respuesta al i -ésimo tratamiento dentro del j -ésimo bloque.

μ : Media general o promedio teórico de la población en estudio.

T_i : Efecto atribuible al i -ésimo tratamiento.

B_j : Efecto asociado al j -ésimo bloque o factor de control local.

E_{ij} : Error experimental aleatorio remanente en la unidad del i -ésimo tratamiento y j -ésimo bloque.

Subíndices y dimensiones:

$i = 1, 2, 3, 4$ (representando los cuatro tratamientos evaluados).

$j = 1, 2, 3$ (representando las tres réplicas o bloques conformados).

2.7. Análisis estadístico

Las variables cuantitativas fueron sometidas a un Análisis de Varianza. Al registrarse significancia estadística, se recurrió a la prueba de contraste de Tukey (0.05) con el propósito de identificar y comparar los diferentes grupos. El tratamiento y análisis estadístico de los datos se realizó a través de software InfoStat. Por su parte, la organización de los resultados, así como la elaboración de tablas y figuras, se realizaron utilizando el programa Microsoft Excel 2021.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de la capacidad simbiótica

3.1.1. Parámetros evaluados en la raíz de arveja

Tabla 3.1

Análisis de varianza de los parámetros evaluados de la capacidad simbiótica en la raíz de arveja bajo el efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum* biovar viciae y *A. brasilense*.

F.V	G. L	CUADRADOS MEDIOS (CM)				
Bloques	3	0.65 ns	0.05 ns	0.15 ns	0.0003 ns	8.18 ns
Tratamientos	4	8.95**	2.22 **	0.52 **	0.01 **	30.67 **
Error	12	0.43	0.02	0.06	0.0006	3.71
Total	19					
C.V (%)		3.29	4.92	11.75	7.97	12.31

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

El análisis de varianza que se muestra (Tabla 3.1) en las variables de la capacidad simbiótica (longitud de raíz, peso fresco de raíz más nódulos, peso fresco de raíz sin nódulos, peso seco de raíz sin nódulos y MS de raíz sin nódulos). Los tratamientos aplicados resultaron estadísticamente significativos para todos los parámetros. La significancia positiva sugiere que por lo menos uno de los tratamientos tuvo efecto diferenciado, es decir, existe una respuesta positiva de los parámetros de raíz.

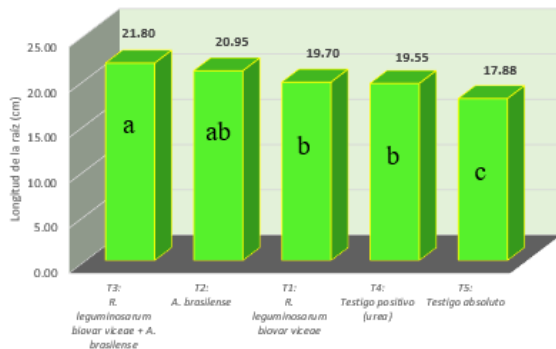
Los parámetros analizados registraron un coeficiente de variación de entre 3.29% y 12.31%, valores que respaldan la rigurosidad, precisión y

validez de los hallazgos obtenidos en el presente estudio.

3.1.2. Longitud de raíz (cm)

Figura 3.1

Prueba de Tukey (0.05) de los valores promedio de la longitud de raíz de arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación de *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



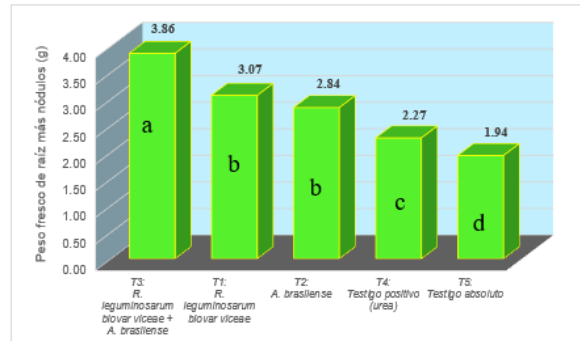
En la Figura 3.1, se observa la comparación de medias Tukey de la longitud de raíces de arveja, donde se evidencia que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) fue superior en longitud de raíz (cm), obteniendo un promedio de 21.80 cm, lo que representa una ventaja de 3.92 cm, equivalente a un incremento de 17.98% en comparación con el testigo absoluto. No obstante, con el T3 y T2 (*A. brasilense*) las respuestas se muestran similares a nivel estadístico, donde únicamente se aprecian variaciones cuantitativas sin significancia estadística. En longitud de raíz, tanto el testigo positivo (urea) y absoluto resultaron con respuestas más bajas, con promedios de 19.55 y 17.88 cm, respectivamente.

En el presente estudio, la longitud radicular registrada oscila entre 19,70 y 21,80 cm, valores que se encuentran dentro del rango reportado por Quispe (2018), quien obtuvo longitudes de 18 a 21 cm al evaluar el efecto del abonamiento orgánico y la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae*. La ligera superioridad observada se le atribuye a la coinoculación con microorganismos benéficos, especialmente *A. brasilense*, que promueve el crecimiento radicular al incrementar el número y la longitud de raíces, el volumen y la biomasa del sistema radicular, así como la formación temprana de pelos radicales, favoreciendo una mayor absorción de nutrientes y un desarrollo radicular más vigoroso.

3.1.3. Peso fresco de raíz más nódulos

Figura 3.2

Prueba de Tukey (0.05) de los valores del promedio de peso fresco de raíz más nódulos en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



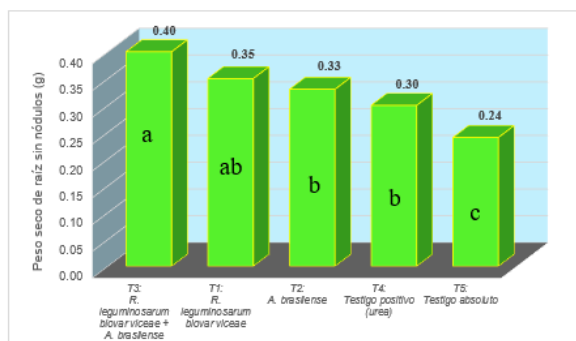
En la Figura 3.2, los resultados indican que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) mostró una superioridad estadística significativa frente a los tratamientos de control. Específicamente, el T3 superó al T4 (Fertilización con Urea) y al T5 (Testigo absoluto) con incrementos del 41.19% y 49.74%, respectivamente. Por otra parte, no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los efectos de los tratamientos T1 (*R. leguminosarum*) y T2 (*A. brasilense*), compartiendo el rango literal "b". Aunque se registraron diferencias numéricas menores (3.07 g y 2.84 g con respecto al testigo), estas no alcanzaron significancia estadística. Estos hallazgos sugieren que, si bien cada microorganismo por separado aporta al desarrollo radicular, su interacción sinérgica potencia significativamente la biomasa de la raíz y la nodulación.

La co-inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *Azospirillum brasilense* demostró beneficios significativos en el crecimiento vegetativo y radicular. Estos hallazgos concuerdan con Cubillos et al. (2024), quienes reportaron, que la asociación del rizobios y *Azospirillum brasilense* con ácido húmico (HA) potenció la elongación y proliferación radicular, atribuyéndolo a la modificación de la arquitectura del sistema radicular en plantas del frijol (*Phaseolus lunatus*).

3.1.4. Peso seco de raíz sin nódulos

Figura 3.3

Prueba de Tukey (0.05) del peso seco de raíz sin nódulos de la arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.3, se efectuó un análisis de comparación de Tukey para los promedios de peso seco de raíz sin nódulos en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Remate. Los resultados muestran que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) presenta diferencias estadísticas significativas respecto a los tratamientos T4 (urea) y T5 (testigo absoluto), registrando incrementos del 25 % y 40 %, respectivamente. Asimismo, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T2 y T4, los cuales compartieron la misma letra estadística (“b”), lo que indica que la inoculación con *A. brasilense* y la aplicación de urea presentan efectos similares sobre el peso seco de raíz.

La interacción microbiana influye en procesos clave como la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, la biosíntesis y regulación de fitohormonas, y la solubilización de minerales y nutrientes esenciales para la planta. Además, estos microorganismos promueven el desarrollo radicular, evidenciado en el aumento del volumen y biomasa de la raíz. En el presente estudio, se obtuvo un peso seco radicular de 0.393 g, valor que resulta inferior al reportado por Ccente (2023), quien registró 0.821 g de peso seco de raíz en la misma variedad Remate, utilizando un consorcio microbiano de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y *Rhizobium* spp.

3.2. Nódulos por planta

Tabla 3.2

Análisis de varianza (ANVA) del número de nódulos por planta, peso fresco y peso seco de nódulo por planta por efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.

Número de nódulos / planta	Peso fresco de nódulo / planta (g)	Peso seco de nódulos / planta (g)	% MS de nódulos
----------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------

F.V	G. L	CUADRADOS MEDIOS (CM)			
Bloques	3	29.84 *	0.04 ns	0.0001 ns	13.93 ns
Tratamientos	4	348.98 **	1.81 **	0.01**	166.18 **
Error	12	11.04	0.03	0.000	81.29
Total	19				
C.V (%)		20.29	24.25	34.50	18.46

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

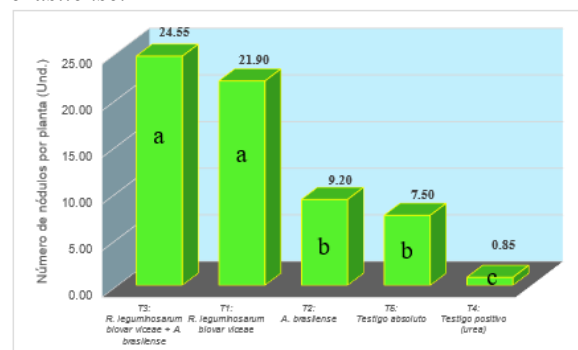
La evaluación de varianza que se presenta (Tabla 3.2) de las variables de la capacidad simbiótica (número de nódulos por planta, peso fresco, seco de nódulos por planta y materia seca de nódulos por planta). Según estos resultados, resultaron estadísticamente alta significativa en los tratamientos (0.01>p**) en las variables. Es decir, los inoculantes aplicados como tratamientos tuvieron efecto diferenciado en estos parámetros evaluados.

La significancia de los bloques, como resultó en número de nódulos por planta, indica una variabilidad entre las repeticiones, esto se debe a los efectos de factores como el clima, manejo, etc. Los coeficientes de variabilidad fluctuaron en el rango de 18.46% - 34.50% en rangos más aceptables a nivel de campo con relativa heterogeneidad en los datos de campo.

3.2.1. Número de nódulos por planta

Figura 3.4

Prueba de Tukey (0.05) del número de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



La Figura 3.4, se efectuó un análisis de comparación de Tukey aplicada al número de nódulos por planta en arveja variedad Remate. Se determinó que los tratamientos T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) y T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) alcanzaron los mayores promedios en la formación de nódulos, con valores de 24.55 y 21.90 nódulos por planta, respectivamente. Ambos tratamientos se ubicaron en el rango superior de significancia, superando ampliamente a los demás grupos evaluados. En contraste, los tratamientos T2 (*A. brasilense*), T5 (Testigo absoluto) y T4 (Urea) presentaron un desempeño inferior, con promedios de 9.20, 7.50 y 0.85 nódulos por planta, respectivamente. Desde

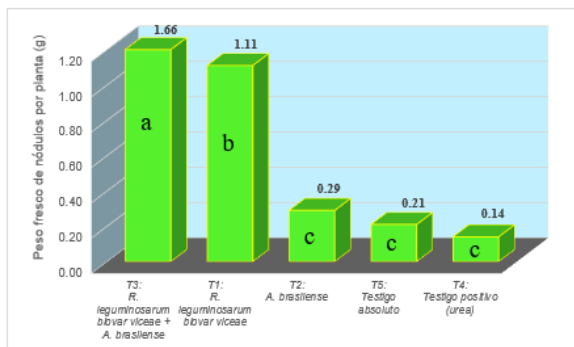
el punto de vista estadístico, estos tres tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí, quedando agrupados en el rango literal "b".

El número de nódulos por planta obtenido en la presente investigación (24.55 en el tratamiento T3) resultó inferior a los 52 nódulos por planta reportados por Muñoz (2018) en la misma variedad de arveja (Remate), en cuanto a esta diferencia vale precisar que Muñoz empleó una estrategia de nutrición complementaria basada en la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* más micronutrientes y extractos de algas marinas.

3.2.2. Peso fresco de nódulos por planta

Figura 3.5

Prueba de Tukey (0.05) del peso fresco de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.



La Figura 3.5, muestra los resultados de la prueba de Tukey, aplicada al peso fresco de nódulos por planta en arveja variedad Remate. Los resultados indican que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*) y el T1 (*R. leguminosarum biovar viciae*) registraron los rendimientos más elevados en términos de biomasa, con valores de 1.66 g y 1.11 g, respectivamente, ubicándose en los rangos estadísticos superiores, evidenciando un incremento diferenciado en comparación con los grupos de control. En contraste, los tratamientos T2 (*A. brasilense*), T5 (Testigo absoluto) y T4 (Urea) registraron pesos inferiores, con promedios de 0.29 g, 0.21 g y 0.14 g. Desde el punto de vista estadístico, estos tres grupos no mostraron diferencias significativas entre sí, quedando agrupados en el rango literal "c".

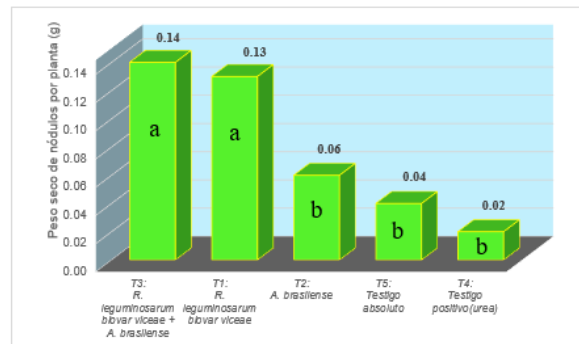
El peso fresco de nódulos obtenido mediante la coinoculación de *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense* es 1.66 g/planta que es significativamente superior al valor de 1.19 g/planta reportada por Tipán (2014), quien registró un peso de 1.19 g/planta utilizando la inoculación con *Rhizobium sp.* combinada con un

testigo sin nitrógeno. Esta diferencia puede atribuirse a diversos factores, como las condiciones ambientales o la cepa específica utilizada. Además, Se postula que *Azospirillum* incrementa la producción de fitohormonas, principalmente auxinas, lo que estimula una mayor ramificación radicular y, por ende, aumenta los sitios de infección para la formación de nódulos más robustos y pesados.

3.2.3. Peso seco de nódulos por planta

Figura 3.6

Prueba de Tukey (0.05) del peso seco de nódulos por planta en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.



La Figura 3.6, presenta los análisis de la prueba de comparación múltiple de Tukey (5%) respecto al peso seco de los nódulos por planta en la variedad de arveja Remate. Al respecto, se evidencia que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*) obtuvo el mayor peso seco de nódulos (0.14 g), seguido por T1 (*R. leguminosarum biovar viciae*) con 0.13 g; En contraste los tratamientos T2 (*A. brasilense*), T5 (T5: testigo absoluto) y T4 (urea) obtuvieron valores de 0.06 g, 0.04 g y 0.02 g, respectivamente y perteneciendo al mismo grupo estadístico ("b"). En resumen, la coinoculación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal mejoran significativamente la biomasa nodular en arveja respecto a los testigos, especialmente cuando se combinan *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.

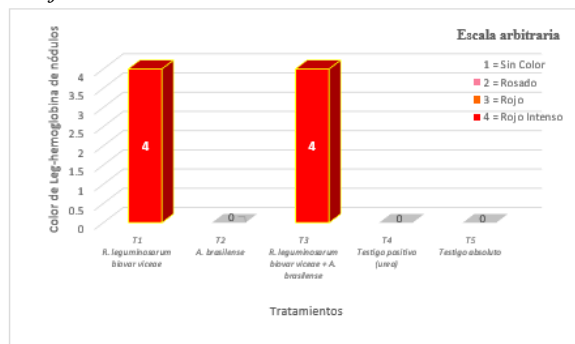
Los resultados obtenidos evidencian que la inoculación conjunta con *Rhizobium leguminosarum biovar viciae* y *Azospirillum brasilense* permitió que los tratamientos inoculados presenten valores superiores de peso seco por planta en comparación con el testigo absoluto y el testigo positivo, alcanzando un promedio de 0,14 g por planta. Si bien este valor es inferior al reportado por Tipán (2014), quien registró 0,21 g por planta. La diferencia observada se atribuye a variaciones en las condiciones edafoclimáticas, el manejo agronómico, la cepa

bacteriana utilizada o la respuesta específica del cultivo, factores que influyen directamente en la eficiencia de la simbiosis.

3.2.4. Color de Leg-hemoglobina del nódulo

Figura 3.7

Distribución de la intensidad del color de leg-hemoglobina de nódulos por cada tratamiento, por efecto de la inoculación con bacteria en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* en arveja variedad Remate.



En la Figura 3.7, en los tratamientos T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) y T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) el 100% de las coloraciones de los nódulos fueron de color rojo intenso. El T2 (*A. brasilense*), T4 (con urea) y T5 (testigo) presentó una ausencia total de coloración.

En los tratamientos inoculados con *R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*, las plantas de arveja presentaron nódulos de coloración rojo intenso del que indica una efectiva fijación biológica de nitrógeno. Esta coloración se debe a la presencia de leg-hemoglobina, una hemoproteína característica y abundante en los nódulos radiculares eficientes, la cual actúa como un transportador de oxígeno que mantiene condiciones microaerófilas óptimas para la actividad de la nitrogenasa. Según Felipe (2009), la leg-hemoglobina también es conocida como "nodulina tardía" debido a que su expresión ocurre en etapas posteriores al desarrollo morfológico del nódulo. Su presencia es esencial para que el proceso de fijación de nitrógeno molecular (N₂) pueda llevarse a cabo eficientemente.

3.3. Nitrógeno y proteína total en granos

Tabla 3.3

Análisis de varianza del contenido total de nitrógeno y proteína, bajo el efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.

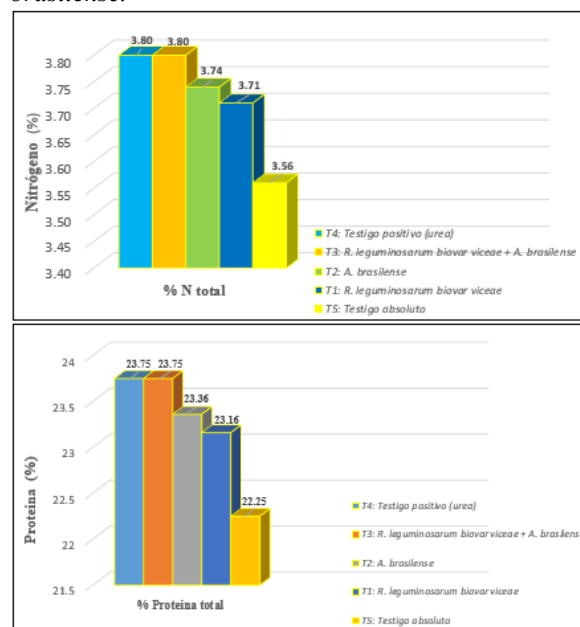
F.V	G. L	CUADRADOS MEDIOS (CM)	
		% nitrógeno total	% proteína total
Bloques	3	0.01 ns	0.28 ns
Tratamientos	4	0.04 ns	1.53 ns
Error	12	0.02	0.63
Total	19		
C.V (%)		3.43	3.56

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

Según el análisis de varianza del contenido de nitrógeno y proteína total presentado (Tabla 3.3), no se registraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0,05$). Este comportamiento indica que las respuestas obtenidas fueron similares en todos los tratamientos, incluidos los testigos, bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento. Los coeficientes de variabilidad obtenidos, de 3,43 % para nitrógeno y 3,56 % para proteína total, evidencian una baja variabilidad experimental, lo que demuestra una adecuada precisión del ensayo y una alta confiabilidad.

Figura 3.9

Prueba de Tukey (0.05) del nitrógeno y proteína total de granos de arveja variedad Remate por efecto de la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.8, se presenta la prueba de significación Tukey del contenido de nitrógeno y proteína total en tejido de arveja variedad Remate. Para el contenido de N total, se observó que los tratamientos con aplicación de inoculantes microbianos (T1, T2 y T3) y el tratamiento con fertilización nitrogenada urea (T4) presentaron valores significativamente superiores en comparación con el testigo absoluto (T5), el cual registró el menor contenido de nitrógeno total. Estos resultados indican que tanto la inoculación microbiana como la aplicación de urea contribuyeron al incremento del nitrógeno total en el cultivo. En cuanto al contenido de proteína total, la prueba de Tukey evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Los tratamientos T3 (coinculación) y T4 (urea) alcanzaron los valores más altos de proteína total (23,75 %), sin presentar diferencias significativas

entre ellos, lo que indica un efecto comparable sobre esta variable. Por su parte, los tratamientos T1 y T2 mostraron valores intermedios, mientras que el testigo absoluto (T5) presentó el menor contenido proteico (22,25 %), siendo estadísticamente inferior al resto de tratamientos. Estas respuestas con la urea podrían deberse a que, al ser una fuente de nitrógeno mineral de rápida liberación, proporciona nitrógeno directamente disponible para la planta, favoreciendo la síntesis de aminoácidos y proteínas. Por ello, las plantas fertilizadas con urea presentan mayor contenido de nitrógeno y proteína total en los granos. En contraste, los tratamientos inoculados con bacterias fijadoras de nitrógeno, como *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* y *Azospirillum brasilense*, dependen de procesos biológicos complejos y lentos, cuya eficiencia está condicionada por factores ambientales como la temperatura, humedad del suelo, pH y disponibilidad de carbono.

En relación con el porcentaje de nitrógeno y contenido proteico en el presente estudio, se observa una uniformidad entre los tratamientos, ya que las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Esto indica que tanto la fertilización química como la biológica resultaron en producciones equivalentes de porcentaje de nitrógeno y proteína en las plantas.

De acuerdo con Tipan (2014), quien evaluó la fijación simbiótica de nitrógeno en arveja (*Pisum sativum* L.) inoculada con cepas del género *Rhizobium*, los tratamientos inoculados mostraron un contenido promedio de nitrógeno de 0.23 gramos, en comparación con el testigo sin aplicación de nitrógeno, que registró únicamente 0.11 gramos de N, evidenciando el impacto positivo de la inoculación en la acumulación de nitrógeno. Esos registros son inferiores a los resultados de esta investigación lo cual se atribuye a que los fertilizantes químicos presentan un mecanismo de liberación y asimilación rápida, proporcionando nutrientes de forma inmediata y directa.

En su investigación, Chaupin (2024) reportó un contenido promedio de proteína del 23.52% como resultado de la inoculación con *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae*. Estos datos muestran una tendencia similar a los registrados en nuestro ensayo, donde se registró un contenido proteico del 23.75% con la inoculación de *R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense* y la aplicación del testigo positivo (urea), lo que indica una respuesta similar en la concentración proteica del cultivo bajo ambos tratamientos.

3.4. Variables de rendimiento

Tabla 3.4

Análisis de varianza (ANVA) de altura promedio de la planta de arveja hasta madurez fisiológica y cosecha de vainas verde, bajo el efecto de los inoculantes con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.

F.V	G. L	Altura a madurez fisiológico	Altura a la cosecha de vainas
		CUADRADOS MEDIOS (CM)	
Bloques	3	10.25 ns	15.51 ns
Tratamientos	4	147.57 **	132.85 *
Error	12	20.81	30.08
Total	19		
C.V (%)		3.89	4.66

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

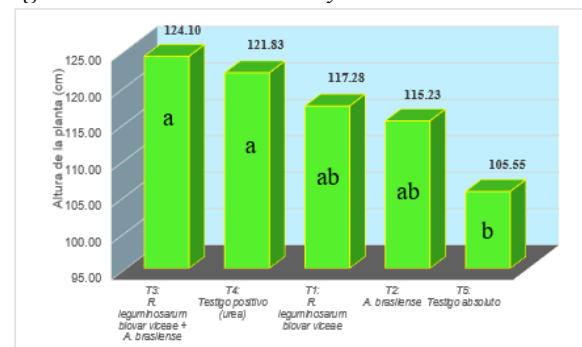
En el análisis de varianza que se muestra (Tabla 3.4), para la variable altura de la planta en etapa de madurez fisiológica y cosecha de vainas verdes, en ambas etapas los tratamientos resultaron estadísticamente significativas. Es decir, al menos uno de los tratamientos tuvo una mejor influencia en altura de la planta en ambos periodos fenológicos. La falta de significancia en los bloques confirma que las repeticiones de cada tratamiento mantuvieron un comportamiento homogéneo.

En altura de la planta en madurez fisiológica y a la cosecha de vaina verde, se encontraron coeficientes de variabilidad de 3.89% y 4.66%, los cuales indican elevado nivel de exactitud y rigurosidad en los datos obtenidos.

3.4.1. La altura de la planta

Figura 3.9

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de altura promedio de la planta en cosecha de vainas verdes en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con R. leguminosarum biovar viciae y A. brasilense.



En la Figura 3.9, se presenta los resultados de la prueba de Tukey para la altura promedio de la planta de arveja variedad Remate, bajo el efecto de inoculantes microbianos. Se observó que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) registró la mayor altura de planta (124,10 cm), seguido por los tratamientos T4 (urea), T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*) y T2 (*A. brasilense*), con valores de 121,83 cm, 117,28 cm y 115,23 cm, respectivamente. El menor valor

correspondió al tratamiento T5 (testigo absoluto), con una altura promedio de 105,55 cm. La combinación de la inoculación bacteriana y la fertilización nitrogenada estimuló un incremento significativo en la altura de las plantas de arveja, superando los resultados del tratamiento control. Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran valores de altura de planta superiores a los reportados por Chaupin (2024), quien registró alturas promedio de 83,92 cm en la variedad Remate y 75,13 cm en la variedad Usui con la inoculación de *R. leguminosarum* biovar *viciae*. Estas diferencias podrían atribuirse al manejo agronómico empleado, particularmente a la inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno.

En este estudio, la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense* habría favorecido el desarrollo vegetativo de la arveja, debido a la capacidad de *A. brasilense* para sintetizar fitohormonas, como auxinas, que estimulan el crecimiento radicular y aéreo de la planta, traduciéndose en un mayor incremento en la altura de planta.

3.4.2. Número de vainas por planta

Tabla 3.5

Análisis de varianza de número de vainas verdes promedio por planta de arveja, bajo el efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.

F.V.	G. L	S. C	C. M	Fc	P-valor
Bloques	3	5.47	1.82	1.477	0.2706 ns
Tratamiento	4	71.62	17.91	14.508	0.0002**
Error	12	14.81	1.23		
Total	19	91.90			
C. V. (%):	5.30				

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

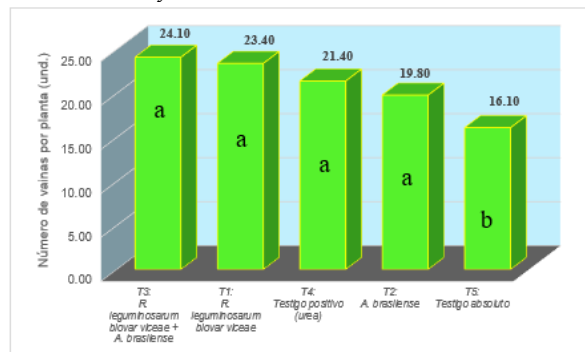
Los resultados del análisis de varianza indican que se muestra (Tabla 3.5), en número de vainas promedio por planta, se encontró una alta significancia estadísticamente ($0.01 > p^{**}$). Es decir, al menos uno de los tratamientos tuvo efecto diferenciado en número de vainas. En este caso, los bloques resultaron homogéneos. Dado que existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, esto sugiere análisis de comparación de medias para identificar los mejores tratamientos.

Para la variable número de vainas por planta, se registró un coeficiente de variabilidad de 5.30%; este porcentaje refleja la rigurosa precisión y la validez de los resultados reportados.

Figura 3.10

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del número de vainas promedio por planta en arveja variedad Remate, en

respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.



La Figura 3.10 presenta las comparaciones múltiples de Tukey para la variable del número de vainas promedio por planta de arveja variedad Remate, bajo el efecto de inoculantes microbianos. Se observa que los tratamientos T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*), T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*), T4 (testigo positivo con urea) y T2 (*A. brasilense*), alcanzaron números similares en vainas por planta, con promedios de 24.10, 23.40, 21.40 y 19.80 unidades, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos (“a”). En cambio, el testigo absoluto (T5) mostró el menor número de vainas que todos, 16.10 unidades.

Por su parte, Ruiz (2024) centró su análisis investigativo en *Rhizobium*, evaluando su específicamente en relación con la densidad de siembra e inoculación con *Rhizobium* sp. y su efecto en el rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.), se obtuvo un resultado de 21.33 vainas por planta para la variedad Remate. En el presente trabajo, sin embargo, se observó un mayor número de vainas por planta, con 24.10 vainas en el tratamiento T3 (*R. leguminosarum* biovar *viciae* + *A. brasilense*) y 23.40 vainas en el tratamiento T1 (*R. leguminosarum* biovar *viciae*). Esta diferencia puede atribuirse principalmente al nivel del piso ecológico y al tipo de suelo en los cuales se realizaron los estudios. La co-inoculación bacteriana beneficia la simbiosis con la planta al estimular el crecimiento de la raíz y del tallo, lo que aumenta el espacio para la nodulación y mejora la absorción de agua y nutrientes.

3.4.3. Número de granos por vaina

Tabla 3.6

Análisis de varianza (ANVA) de número de granos promedio por vaina, bajo el efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum* biovar *viciae* y *A. brasilense*.

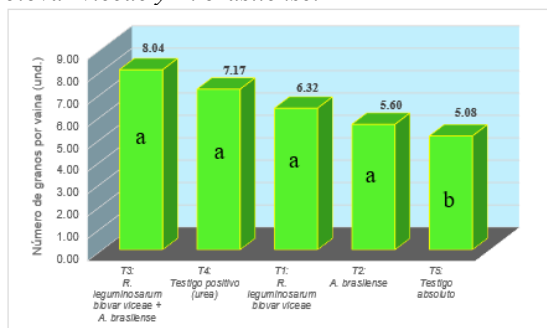
F.V.	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	3	1.05	0.35	8.571	0.0025**
Tratamiento	4	1.81	0.45	11.082	0.0005**
Error	12	0.49	0.04		
Total	19	3.35			
C. V. (%):	3.65				

Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3.6) para el número medio de granos por vaina revelaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$), lo que indica un impacto marcadamente superior por parte de, al menos, uno de los tratamientos. Por otro lado, se detectó una variabilidad significativa entre los bloques evaluados ($p < 0.05$). Dado que existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, esto sugiere análisis de comparación de medias para identificar los mejores tratamientos.

Figura 3.11

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del número de granos promedio por vaina en arveja verde variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.



La Figura 3.11, presenta los resultados de la prueba de Tukey para número de granos promedio por vaina de arveja variedad Remate, bajo el efecto de inoculantes microbianos. Se observó que los tratamientos T3 (*R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*), T4 (testigo positivo con urea), T1 (*R. leguminosarum biovar viciae*) y T2 (*A. brasilense*) alcanzaron promedios similares en el número de granos por vaina (8,04; 7,17; 6,32 y 5,60, respectivamente), sin presentarse diferencias estadísticas significativas entre ellos, al compartir la misma letra estadística (“a”). Por el contrario, el tratamiento T5 (testigo absoluto) registró el menor promedio, con 4,98 granos por vaina. En conjunto, la inoculación microbiana y la fertilización nitrogenada favorecieron el incremento del número de granos por vaina en comparación con el testigo sin inoculación.

Los resultados obtenidos por Quispe (2018), quien reportó al evaluar el número de granos por vaina en cinco variedades de arveja sometidas a fertilización orgánica y a la inoculación con *Rizomack* (*R. leguminosarum biovar viciae*), se registraron valores que oscilaron entre 5.83 y 6.92 granos por vaina. Estos valores son consistentes con los hallados en el presente estudio, sobre esta similitud vale precisar que el número de granos dependen de la variedad, la posición de la

legumbre respecto a la planta, las condiciones meteorológicas y la fertilización utilizada.

3.4.4. Longitud de vainas

Tabla 3.7

Análisis de varianza (ANVA) de la longitud de vainas promedio, bajo el efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.

F.V.	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	3	0.01	0.004	0.667	0.5849 ns
Tratamiento	4	0.60	0.15	25.083	<0.0001**
Error	12	0.07	0.01		
Total	19	0.69			

C. V. (%): 0.97

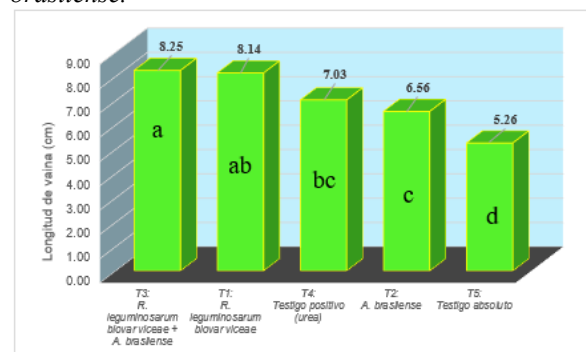
Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza presentados en la Tabla 3.7, se observa que la longitud de vainas promedio de arveja variedad Remate. Según el resultado, se encontró una alta significancia estadística ($0.01 > p^{**}$) en el efecto de los tratamientos. Es decir, los tratamientos tuvieron efecto diferenciado en la longitud de las vainas. En este caso, los bloques resultaron más homogéneos ($p > 0.05$). Dado que existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, esto sugiere análisis de comparación de medias para identificar los mejores tratamientos.

En longitud de vainas por planta se encontró un coeficiente de variabilidad de 0.97%, lo cual significa alta precisión y confiabilidad de los resultados mostrados.

Figura 3.12

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de la longitud promedio de vaina en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.12, observamos que el T3 (*R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*), T1 (*R. leguminosarum biovar viciae*) y T4 (testigo positivo con urea) tuvo efecto superior en comparación con el testigo absoluto y T2 (*A. brasilense*) alcanzando valores diferentes en la longitud de vaina (8.25, 8.14, 7.03 cm) respectivamente. Es decir, la interacción de ambos

tipos de bacterias tuvo efecto relativamente superior y tuvo una diferencia clara en comparación con el resto de los tratamientos. El T2 (*A. brasilense*), solo tuvo efecto intermedio y muy similar al testigo absoluto.

El promedio de longitud de vaina obtenido en el presente estudio (8,25 cm) fue superior a los valores reportados por Escajadillo (2023) para las variedades Remate (6,93 cm) y Usui (6,86 cm) con la inoculación de (*R. leguminosarum biovar viciae*) y labranza de conservación. Esta diferencia podría atribuirse al manejo agronómico, especialmente al método de labranza y al uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR), los cuales optimizan la asimilación de elementos nutritivos y las propiedades físicas del sustrato, potenciando así el desarrollo de la vaina.

Valdez (2017), reportó una longitud promedio de 8.58 cm en las vainas de la variedad Remate. Este valor guarda una estrecha similitud con los registros del presente ensayo, lo que demuestra que las condiciones del medio y las prácticas agrícolas aplicadas fueron las adecuadas para el pleno despliegue genético y crecimiento de la planta.

3.4.5. Rendimiento por hectárea de vaina verde

Tabla 3.8

Análisis de varianza del rendimiento de vaina verde de arveja, bajo el efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.

F.V.	G. L	S. C	C. M	Fc	p-valor
Bloques	3	0.72	0.240	0.424	0.7414 ns
Tratamiento	4	22.78	5.70	10.050	0.0008**
Error	12	6.80	0.57		
Total	19	30.30			

C. V. (%): 12.94

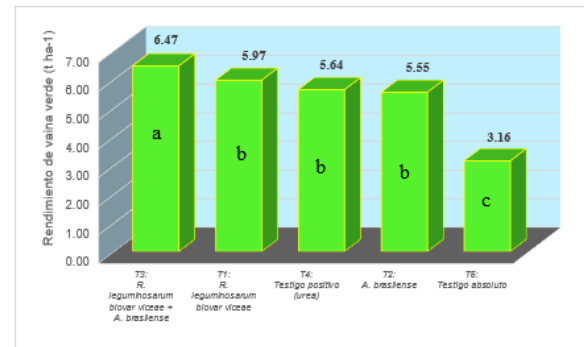
Nota. No significativo (ns), significativo (*), altamente significativo (**)

En el análisis de varianza que se muestra (Tabla 3.8) de rendimiento promedio de vaina verde de arveja variedad remate. Según el resultado, se encontró una alta significancia estadística ($0.01 > p^{**}$) en el efecto de los tratamientos. Es decir, los tratamientos tuvieron efecto diferenciado en el rendimiento de vainas. En este caso, los bloques resultaron más homogéneos ($p > 0.05$). Dado que existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, esto sugiere análisis de comparación de medias para identificar los mejores tratamientos.

En rendimiento de vaina verde se encontró un coeficiente de variabilidad de 12.94%, lo cual significa una baja variabilidad, no obstante, se acepta a nivel de campo, por lo que los resultados mostrados son confiables.

Figura 3.13

Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) del rendimiento promedio de vaina verde en arveja variedad Remate, en respuesta a la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.



En la Figura 3.13, los resultados indican que el tratamiento T3 (*R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*) registró la máxima productividad media de vaina verde, registrando 6,47 t ha⁻¹, lo que representa un incremento del 43,03 % en comparación con el tratamiento T5 (testigo absoluto), que alcanzó 3,16 t ha⁻¹. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento T3 y los tratamientos T1 (*R. leguminosarum biovar viciae*), T4 (testigo positivo con urea) y T2 (*A. brasilense*), los cuales presentaron rendimientos promedio de 5,97; 5,64 y 5,55 t ha⁻¹, respectivamente.

El rendimiento promedio de vaina verde obtenido en el presente estudio (6,47 t ha⁻¹) fue superior al reportado por Escajadillo (2023) para la variedad Remate inoculada únicamente con *R. leguminosarum biovar viciae* bajo labranza de conservación (4,19 t ha⁻¹). Esta diferencia podría atribuirse al tipo de inoculación empleada, dado que en esta investigación se utilizó la coinoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*. Ambos microorganismos establecen una asociación simbiótica eficiente con el cultivo, favoreciendo la fijación biológica de nitrógeno y la mejora en la absorción de nutrientes, lo cual se refleja en un mayor rendimiento y una mejor calidad de las vainas.

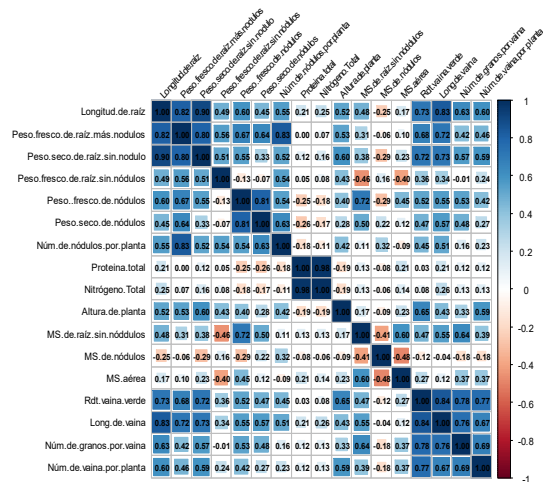
Ccente (2023) registró una productividad de 4,48t ha⁻¹ en el caso de la variedad Remate mediante la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae*. y un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), valor que resulta inferior al rendimiento obtenido en el presente estudio (6,47 t ha⁻¹). Dicho contraste podría deberse a la variabilidad de las condiciones climáticas y ambientales del lugar, principalmente a la composición y eficacia de los microorganismos empleados en la inoculación. En este estudio, la

coinoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense* habría favorecido el desarrollo radicular y aéreo, incrementando la nodulación y la fijación biológica de nitrógeno, así como la producción de fitohormonas y la mitigación del estrés abiótico, lo que se reflejó en mayores rendimientos de vaina verde.

3.5. Correlación de las variables evaluadas

Figura 3.14

Coefficientes de correlación Pearson de las variables evaluadas.



La figura 3.14 muestra la matriz de correlación de Pearson, con la finalidad de mostrar relaciones significativas entre variables claves del cultivo de arveja. Se observa una alta correlación positiva entre el rendimiento de vainas verdes y la longitud de vainas ($r = 0.87$), así como con el número de granos por vaina ($r = 0.82$) y el número de vainas por planta ($r = 0.77$), esto demuestra que la interacción de estas tres variables contribuyó de manera directa en el aumento de la productividad de vainas verdes. Asimismo, el contenido de proteína y nitrógeno total están perfectamente correlacionados ($r = 0.98$), lo cual es esperado, ya que el nitrógeno es un componente principal de las proteínas vegetales. Además, la longitud de raíz muestra fuerte asociación con el peso fresco de raíz más nódulos ($r = 0.82$) y con el peso seco de raíz sin nódulos ($r = 0.65$), lo que sugiere que raíces más largas también promueven a ser más pesadas y posiblemente más eficientes en absorción de agua y nutrientes. En conjunto, estas correlaciones resaltan el importante lazo de la inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*, en las características morfológicas y fisiológicas en la productividad del cultivo de arveja variedad Remate.

Asimismo, observamos coeficientes de correlación negativas, lo cual indica una relación inversamente proporcional entre dos variables, por

ejemplo: entre materia seca aérea y peso fresco de raíz sin nódulos (-0.46).

3.6. Análisis de rentabilidad económica

3.6.1. Peso neto del rendimiento de vaina verde (kg/ha)

Tabla 3.9

Estimación de rentabilidad del cultivo de arveja variedad remate, bajo el efecto de los inoculantes con *R. leguminosarum biovar viciae* y *A. brasilense*.

Trt	Descripción	Rdt. (kg/ha)	Precio Unitario (kg)	Costo de prod. (S/)	Valor bruto de prod. (S/ x ha)	Valor neto de prod. (S/ x ha)	Rentabilidad (%)
T1	<i>R. leguminosarum biovar viciae</i> .	5,970.0	4.8	6,343.61	28,656.00	22,312.39	351.73
T2	<i>A. Brasilense</i>	5,550.0	4.8	5,915.61	26,640.00	20,724.39	350.33
T3	<i>R. leguminosarum biovar viciae</i> + <i>A. brasilense</i> .	6,470.0	4.8	6,921.61	32,352.00	25,430.39	367.41
T4	Con N-urea (testigo positivo)	5,640.0	4.8	7,268.81	27,072.00	19,803.19	272.44
T5	Testigo absoluto	3,160.0	4.8	5,712.31	15,168.00	9,455.69	165.69

En la Tabla 3.10 se presenta el valor neto de producción estimado para cada tratamiento. Este indicador se derivó de restar los costos de producción al valor bruto, el cual, a su vez, fue el producto del rendimiento de vaina verde por hectárea y el precio unitario. Para determinar la rentabilidad económica, se utilizó como base el precio medio del canal minorista de S/ 4.8 para la arveja grano verde (MIDAGRI, 2024)." valor promedio de venta en chacra. El mayor valor neto de producción se registró en el tratamiento T3 (inoculación con *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*), con S/ 25,430.39; en tanto que el menor valor correspondió al tratamiento T5 (testigo absoluto).

En la Tabla 3.10, la estimación de la rentabilidad económica mostró que los tratamientos T1, T2, T3 y T4 presentaron valores positivos, evidenciando la obtención de ganancias. Los mayores niveles de rentabilidad correspondieron a los tratamientos T1 (*R. leguminosarum biovar viciae*), T2 (*A. brasilense*) y T3 (*R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense*), con valores de 351.73 %, 350.33 % y 367.41%, respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Con la combinación de *R. leguminosarum biovar viciae* + *A. brasilense* mejoró positivamente los variables evaluados y el rendimiento del cultivo.
2. De acuerdo a los resultados la co-inoculación de los microorganismos en la arveja fue significativamente superior al testigo, alcanzando 6,47 t·ha⁻¹ de vaina verde.
3. Los tratamientos evaluados no mostraron diferencias en porcentajes de nitrógeno y

proteína, no obstante, estos superaron al testigo absoluto.

4. En términos económicos, el T3 (*Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* + *Azospirillum brasilense*) demostró ser la alternativa más rentable con una rentabilidad del 367.41% y un ingreso neto de S/ 25,430.39, superando ampliamente a la fertilización nitrogenada convencional (urea), la cual solo alcanzó un 272.44% de rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ccente, D. (2023). *Rhizobium* y consorcio de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en el rendimiento de vaina verde de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.). Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Chaupin, J. (2024). *Efecto de Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* en el rendimiento de variedades y accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.). Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Cubillos, J., Saccol, E., Westphal, A., & Pinheiro, D. (2024). Aplicación combinada de sustancias húmicas y PGPR en plantas de *Phaseolus lunatus* y *Leucaena leucocephala*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 18(2), e17621.
- Escajadillo, P. (2023). *Influencia del Rhizobium y labranza de conservación en la producción de arveja verde (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Felipe, R. (2009). *Biotecnologías limpias en agricultura: Fijación biológica de nitrógeno*. CSIC, España.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Estación Experimental Agraria Santa Ana-Huancayo. (2024). INIA 103 - Remate: *Nueva variedad de arveja*. Tríptico técnico, Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Lima, Perú. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/669>
- Muñoz, J. (2018). *Inoculación, micronutrientes y extracto de alga nativa en el rendimiento de variedades de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Quispe, E. (2018). *Abonamiento orgánico e inoculación en el rendimiento de variedades de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Ruiz, M. (2024). *Densidad de siembra e inoculación con Rhizobium sp. en el rendimiento de arveja (Pisum sativum L.)*. Tesis de pregrado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Suasnabar, C., Marmolejo, D., Torres, G., Munive, R., Valverde, A., & Gamarra, G. (2021). *Cultivo de arveja* (1.ª ed.). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Tapia, M. E., y Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú (ANPE).
- Tipán, B. (2014). *Evaluación de la fijación de nitrógeno de cepas de Rhizobium spp. en arveja, chocho, frijol, haba y vicia*. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador, Pichincha, Ecuador.
- Valdez, N. (2017). *Rendimiento en vaina verde de variedades de arveja (Pisum sativum L.) con y sin tutor*. Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.