

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**EFFECTO DE *Bacillus subtilis* EN EL CONTROL DE *Fusarium solani*  
EN VAINITA (*Phaseolus vulgaris* L.) BAJO CONDICIONES DE  
CAÑETE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**CARLOS ERNESTO SULCA POMALAYA**

**Asesorado por: Dra. UTIA PINEDO MARIA DEL ROSARIO**

**HUACHO-PERÚ**

**2022**

# EFECTO DE *Bacillus subtilis* EN EL CONTROL DE *Fusarium solani* EN VAINITA (*Phaseolus vulgaris* L.) BAJO CONDICIONES DE CAÑETE

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de Barranca Trabajo del estudiante	1%
2	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://aprenderly.com">aprenderly.com</a>	

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EFFECTO DE *Bacillus subtilis* EN EL CONTROL DE *Fusarium solani*  
EN VAINITA (*Phaseolus vulgaris* L.) BAJO CONDICIONES DE  
CAÑETE**

**Sustentado y aprobado ante el Jurado evaluador**



---

**Dr. EDISON GOETHE PALOMARES ANSELMO**

**Presidente**



---

**Mg.Sc. SAUL ROBERT MANRIQUE FLORES**

**Secretario**



---

**Dr. MARCO TULIO SANCHEZ CALLE**

**Vocal**



MARÍA DEL ROSARIO UTIA PINEDO  
INGENIERO AGRONOMO  
DIZ 005

---

**DRA. UTIA PINEDO, MARÍA DEL ROSARIO**

**Asesora**

**HUACHO-PERÚ**

**2022**



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión  
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

**ACTA DE SUSTENTACIÓN N°001-2023-FIAIAyA**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRONOMO**

En la ciudad de Huacho, el día 03 de enero del 2023, siendo las 11.00 am, en la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador integrado por:

Presidente	Dr. EDISON GOETHE PALOMARES ANSELMO	DNI N°15605363
Secretario	Mg. Sc. SAUL ROBERT MANRIQUE FLORES	DNI N°30655365
Vocal	Dr. MARCO TULIO SANCHEZ CALLE	DNI N°02807986
Asesor	Dra. MARIA DEL ROSARIO UTIA PINEDO	DNI N°07922793

Para evaluar la sustentación de la tesis titulada: *"EFECTO DE Bacillus subtilis EN EL CONTROL DE Fusarium solani EN VAINITA (Phaseolus vulgaris L) BAJO CONDICIONES DE CAÑETE"*.

El postulante al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo don: **CARLOS ERNESTO SULCA POMALAYA**, Identificado con DNI N°42014853, procedió a la sustentación de Tesis, autorizada mediante Resolución de N°0822-2022-FIAIAyA, de fecha 29/12/2022 de conformidad con las disposiciones vigentes, el postulante SI absolvió las interrogantes que le formularon los miembros del Jurado.

Concluida la sustentación de Tesis, se procedió a la votación correspondiente resultando el candidato APROBADO por UNANIMIDAD con la nota de:

CALIFICACIÓN		EQUIVALENCIA	CONDICIÓN
NÚMERO	LETRAS		
16	DIECISESIS	BUENO	APROBADO

Siendo las 12.30 p.m. del día 03 de enero del 2023 se dio por concluido el ACTO DE SUSTENTACIÓN de Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo inscrito en el folio N°339 del Libro de Actas



Dr. EDISON GOETHE PALOMARES ANSELMO  
Presidente



Mg. Sc. SAUL ROBERT MANRIQUE FLORES  
Secretario



Dr. MARCO TULIO SANCHEZ CALLE  
Vocal



Dra. MARIA DEL ROSARIO UTIA PINEDO  
Asesor

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años.

*Carlos Sulca*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión donde en sus aulas adquirí los conocimientos para mi vida profesional.

Agradezco a mi asesor el Dr. Maria del Rosario Utia Pinedo por su tiempo dedicación y paciencia en la elaboración de este documento. Al Dr. Edison Goethe Palomares Anselmo, al Mg. Sc. Saul Robert Manrique Flores y al Dr. Marco Tulio Sanchez Calle, por disponer su tiempo en corregirme el desarrollo del trabajo de tesis.

A mi familia gracias por los consejos y darme la oportunidad en esta etapa de mi vida.

*Carlos Sulca*

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación de la investigación.....	4
1.5 Delimitación del estudio.....	4
1.5.1 Delimitación temporal.....	4
1.5.2 Delimitación temporal.....	4
1.6 Viabilidad del estudio.....	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	6
2.2.4 Requerimiento de clima.....	10
2.2.5 Requerimiento de suelo.....	10
2.2.1 Variedad Jade.....	11
2.2.2 Pudrición seca de la raíz provocada por <i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>Phaseoli</i> .....	11
2.2.3 Síntomas del <i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>Phaseoli</i> .....	12
2.2.4 Control biológico de <i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>Phaseoli</i> .....	13
2.2.5 Biocontrolador a base de <i>Bacillus subtilis</i> .....	14
2.3 Definiciones conceptuales.....	15
2.4 Hipótesis de la investigación.....	16
2.4.1 Hipótesis general.....	16
2.4.2 Hipótesis específicas.....	16
CAPITULO III. METODOLOGIA.....	17
3.1 Diseño Metodológico.....	17
3.1.1 Ubicación.....	17
3.1.2 Materiales e insumos.....	17

3.1.3	Diseño experimental.....	18
3.1.4	Tratamientos.....	18
3.1.5	Características del área experimental.....	19
3.1.6	VARIABLES A EVALUAR.....	21
3.1.7	Conducción del experimento.....	23
3.2	Población y muestra.....	24
3.3	Técnicas de recolección de datos.....	24
3.4	Técnicas para el procedimiento de la investigación.....	24
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>		<b>25</b>
4.1	Altura de la planta (cm).....	25
4.2	Número de vainas por planta (N°).....	26
4.3	Largo de vaina (cm).....	27
4.4	Diámetro de vaina (cm).....	28
4.5	Número de semillas por vaina (N°).....	29
4.6	Rendimiento (t/ha).....	30
4.7	Pudrición radicular (Grado).....	31
4.8	Incidencia (%).....	32
4.9	Eficiencia de biocontrol (%).....	33
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....</b>		<b>34</b>
6.1	Conclusiones.....	36
6.2	Recomendaciones.....	36
<b>CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>37</b>
Anexos.....		41

## Índice de Tablas

Tabla 1. Análisis de varianza para cada variable evaluada	18
Tabla 2. Tratamientos en estudio	18
Tabla 3. Escala general para evaluar el grado de severidad de infección de la pudrición radicular en vainita	22
Tabla 4. Análisis de varianza para la altura de la planta (cm)	25
Tabla 5. Prueba de Scott-Knott al 5% para altura de planta (cm)	25
Tabla 6. Análisis de varianza para el número de vainas por planta (n°)	26
Tabla 7. Prueba de Scott-Knott al 5% para el número de vainas por planta (n°)	26
Tabla 8. Análisis de varianza para el largo de vaina (cm)	27
Tabla 9. Prueba de Scott-Knott al 5% para el largo de vaina (cm)	27
Tabla 10. Análisis de varianza para el diámetro de vaina (cm)	28
Tabla 11. Prueba de Scott-Knott al 5% para el diámetro de vaina (cm)	28
Tabla 12. Análisis de varianza para el número de semillas por vaina (n°)	29
Tabla 13. Prueba de Scott-Knott al 5% para el número de semillas por vaina	29
Tabla 14. Análisis de varianza para el rendimiento (t/ha)	30
Tabla 15. Prueba de Scott-Knott al 5% para el rendimiento (t/ha)	30
Tabla 16. Análisis de varianza para la pudrición radicular (grado)	31
Tabla 17. Prueba de Scott-Knott al 5% para la pudrición radicular (grado)	31
Tabla 18. Análisis de varianza para la incidencia (%)	32
Tabla 19. Prueba de Scott-Knott al 5% para la incidencia (%)	32
Tabla 20. Análisis de varianza para la eficiencia de control (%)	33
Tabla 21. Prueba de Scott-Knott al 5% para la eficiencia de control (%)	33
Tabla 22. Datos de campo para los parámetros biométricos del cultivo de vainita	42
Tabla 23. Datos de campo para los parámetros para evaluar la enfermedad de <i>Fusarium solani</i> f.sp. phaseolus en el cultivo de vainita	43

## Índice de Figuras

Figura 1. Estados fenológicos de la vainita. Fuente: IICA (2009)	10
Figura 2. Diferencias del síntomas por chupadera en vainita, a) lesiones del sistema radicular a plantas de vainita por <i>Fusarium solani</i> f. sp. Phaseoli y b) daño al sistema radicular principal en plántulas de vainita por <i>Pythium spp.</i> Fuente: FAO (2015)	13
Figura 3. Croquis del campo experimental	20
Figura 4. Preparación del campo experimental	44
Figura 5. Marcación del campo experimental	44
Figura 6. Aplicación de Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> )	45
Figura 7. Siembra de la vainita variedad Jade	45
Figura 8. Crecimiento de la vainita variedad Jade	46
Figura 9. Evaluaciones de las variables en estudio	47
Figura 10. Evaluaciones de las variables en estudio para el tratamiento 1	48
Figura 11. Evaluaciones de las variables en estudio para el tratamiento 2	49
Figura 12. Evaluaciones de las variables en estudio para el tratamiento 3	50
Figura 13. Evaluaciones de las variables en estudio para el tratamiento 4	51

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar el efecto de las diferentes dosis de *Bacillus subtilis* en el control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete. **Metodología:** Se usó el diseño de bloques completos al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos fueron: T1 (testigo sin aplicación), T2 (Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 250 ml/ha), T3 (Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 500 ml/ha) y T4 (Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 750 ml/ha). Las evaluaciones se hicieron a la cosecha y las variables evaluadas fueron: altura de planta, número de vainas por planta, longitud de vaina, diámetro de vaina, número de vainas por planta y rendimiento total, pudrición radicular, incidencia y eficiencia de control. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Scott-Knott al 5 % de probabilidad. **Resultados:** La aplicación de Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 750 ml/ha respecto a las características presentó los resultados más altos: altura de planta (45,4cm), número de vainas por planta (17,2 vainas), longitud de vaina (18,7cm), diámetro de vaina (1,03cm), número de vainas por planta (7,4 semillas) y rendimiento total (12,45 t/ha), en relación a las evaluaciones de la enfermedad del *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli*: pudrición radicular (grado 1), incidencia (2,5%) y eficiencia de control (86,5%). **Conclusión:** La aplicación de Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 750 ml/ha influye en el control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

**Palabras claves:** diámetro, enfermedad, incidencia, Teosim, vainas.

## ABSTRACT

**Objective:** To determine the effect of the different doses of *Bacillus subtilis* in the control of *Fusarium solani* f. sp. Phaseoli in the cultivation of vainita cv. Jade under Cañete conditions. **Methodology:** Complete randomized block design with 4 treatments and 4 replications was used. The treatments were: T1 (control without application), T2 (Teosim (*Bacillus subtilis*) at a dose of 250 ml/ha), T3 (Teosim (*Bacillus subtilis*) at a dose of 500 ml/ha) and T4 (Teosim (*Bacillus subtilis*) at a dose of 750 ml/ha). The evaluations were made at harvest and the variables evaluated were: plant height, number of pods per plant, pod length, pod diameter, number of seeds per plant and total yield, root rot, incidence and control efficiency. For the comparison of means, the Scott-Kenott test was used at 5% probability. **Results:** The application of Teosim (*Bacillus subtilis*) at a dose of 750 ml/ha presented the highest results regarding the characteristics: plant height (45.4 cm), number of pods per plant (17.2 pods), length of pod (18.7 cm), pod diameter (1.03 cm), number of seeds per plant (7.4 seeds) and total yield (12.45 t/ha), in relation to *Fusarium solani* disease evaluations F. sp. Phaseoli: root rot (grade 1), incidence (2.5%) and control efficiency (86.5%). **Conclusion:** The application of Teosim (*Bacillus subtilis*) at a dose of 750 ml/ha influences the control of *Fusarium solani* f. sp. Phaseoli in the cultivation of vainita cv. Jade under Cañete conditions.

**Keywords:** diameter, disease, incidence, Teosim, pods.

## INTRODUCCIÓN

La vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) es una hortaliza originaria de América, presenta un alto consumo en el Perú, debido a que presenta, alto contenido en hierro, vitamina B6, vitamina C, ácido fólico, minerales y alto en proteínas. Asimismo, la vaina se consume en fresco, ya que presenta bajo contenido de fibras, es por ello que esta leguminosa es muy difundido y comercializado por sus características alimenticias y mejora en el sistema digestivo debido a su efecto diurético y depurador, por tanto, se considera un cultivo de suma importancia (Mori, 2017).

Sin embargo, este cultivo presenta problemas fitosanitarios por enfermedades fungosas entre ellas está la enfermedad que ocasiona la pudrición seca de la raíz la cual limitan el rendimiento de la vainita, esta enfermedad es provocada por el hongo *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* (Burkholden) Snyder y Hansen quien llega a mostrar infecciones en cualquier etapa fenológica del cultivo, pero lo más importante es que tal hongo ingresa a través de la raíz y van obstruyendo los tejidos conductores por lo que se muestran los síntomas luego de la infección siendo un mayor problema para el control químico (Cruz-Triana et al., 2018).

Además, la infección del *Fusarium solani* muestran síntomas más visibles en las etapas fenológicas V4 (tercera hoja trifoliada), R5 (prefloración) y R6 (plenafloración) mostrando hojas cloróticas, deshidratadas y lesiones hundidas de color rojizo (Granados-Monteros et al., 2021). Al no realizar aplicación para controlar la enfermedad la planta llega a morir a los 19 a 22 días, pero si se aplica fungicidas y la temperaturas está dentro de 22 y 28 °C con alta humedad relativa condiciones favorables para que el hongo del suelo vuelva a infectar la raíz reduciendo el rendimiento del cultivo (Navarrete–Maya et al., 2009).

Es por ello que Hazarika et a. (2019) mencionan que *Bacillus subtilis* en un agente biológico del suelo que presenta la capacidad de producir metabolitos antibióticos, la producción de enzimas hidrolíticas las cuales contienen una acción antagónica contra los hongos patogénicos. Además, el *Bacillus subtilis* es un agente biológico considerado por ser un promotor del crecimiento de las plantas (Mendoza y Pazmiño, 2021). Por tanto, el presente proyecto permite determinar que dosis de *Bacillus subtilis* tiene mayor efecto en el control de *Fusarium solani* en vainita para las condiciones de Cañete.

## CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

En la provincia de Cañete, se cultiva la vainita para el consumo local y para la comercialización en el mercado de Lima, la vainita presenta una limitada productividad debido a los constantes problemas sanitarios, tales como la pudrición radicular cuya enfermedad es provocada por hongos patogénicos, los cuales se presentan debido a las condiciones relativamente altas de humedad relativa y temperatura de la provincia de Cañete.

La enfermedad llamada pudrición de la raíz es provocada por el hongo *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* quien presenta infecciones en cualquier etapa fenológica del cultivo, pero lo más importante es que tal hongo ingresa a través de la raíz y van obstruyendo los tejidos conductores por lo que se muestran los síntomas luego de la infección siendo un mayor problema para el control químico (Cruz-Triana et al., 2018). Los síntomas se ven visibles en las etapas iniciales fenológicas del cultivo, antes y en plena floración mostrando hojas cloróticas, deshidratadas y lesiones hundidas de color rojizo (Granados-Monteros et al., 2021).

Si los agricultores no realizan aplicaciones la planta llega a morir a los 19 a 22 días, pero si los agricultores realizan aplicaciones químicas pero las condiciones ambientales son de 22 y 28 °C de temperatura y alta humedad relativa la estructura vegetativas del hongo el cual sobrevive en el suelo vuelve a infectar la raíz provocando nuevamente la enfermedad (Navarrete–Maya et al., 2009).

Por tanto, existe la necesidad de controlar este hongo patogénico mediante la aplicación de productos biológicos tal como el *Bacillus subtilis* ya que en la provincia de Cañete este agente biológico está siendo muy difundido en diferentes cultivos para controlar enfermedades provocadas por hongos, debido a su alta capacidad antagónica y además es una bacteria considerada como promotor del crecimiento vegetal. Por lo tanto, esta presente investigación presentó como objetivo el determinar el efecto de diferentes dosis de *Bacillus subtilis* en el control de *Fusarium solani* en vainita.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es el efecto de las diferentes dosis de Teosim (*Bacillus subtilis*) en el control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo condiciones de Cañete?

### **1.2.2 Problemas específicos**

¿Cuál es el efecto de las diferentes dosis de Teosim (*Bacillus subtilis*) con respecto a los parámetros biométricos del cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete?

¿Cuál es el efecto de las diferentes dosis de Teosim (*Bacillus subtilis*) con respecto a la incidencia, severidad y eficiencia de control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de las diferentes dosis de Teosim (*Bacillus subtilis*) en el control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Evaluar el efecto de las diferentes dosis de Teosim (*Bacillus subtilis*) con respecto a los parámetros biométricos del cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

Determinar el efecto de las diferentes dosis de Teosim (*Bacillus subtilis*) con respecto a la incidencia, severidad y eficiencia de control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

## **1.4 Justificación de la investigación**

La vainita es un cultivo de suma importancia debido a sus características alimenticias, por su precio, buen rendimiento, de ciclo vegetativo corto (Mori, 2017). Sin embargo, el uso desmedido de fungicidas generan resistencia de la enfermedad pudrición seca de la raíz provocada por el hongo *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* (Rojas et al., 2013). La estrategia que se utiliza para hacer frente a estos problemas y así controlar la pudrición radicular en la vainita, es el uso del agente biológico *Bacillus subtilis* el cual es una rizobacteria.

Asimismo, Hazarika et al. (2019) mencionan que *Bacillus subtilis* presenta capacidad antifúngica, debido a la producción de enzimas líticas. Además, el *Bacillus subtilis* es considerado como una rizobacteria promotor del crecimiento vegetal (Mendoza y Pazmiño, 2021). Por tanto, el *Bacillus* es un agente biológico que está asociada a la planta (Mejía et al., 2016). Urviola y Ordoñez (2020) sostienen que este agente es un mediador en la liberación de ion fosfato soluble, de esta manera la planta tiene mayor facilidad de absorción de este nutriente. Por lo tanto, la presente investigación pretende determinar la actividad antagónica de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* y el rendimiento de la vainita cultivada en las condiciones de Cañete.

## **1.5 Delimitación del estudio**

### **1.5.1 Delimitación temporal**

Esta investigación se desarrolló en el campo agrícola Sulca en el distrito Nuevo Imperial de la provincia de Cañete, ubicado en la Región Lima.

### **1.5.2 Delimitación temporal**

El desarrollo de esta investigación se realizó desde septiembre del 2021 y culminó en febrero del 2022.

## **1.6 Viabilidad del estudio**

La investigación es viable, debido a que reúne los aspectos económicos, humanos y logísticos que se requiere para realizar de una manera eficiente los objetivos.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

Cao et al. (2011) en Bolivia, evalúan el control de *Fusarium oxysporum* en pepino, bajo la aplicación de cuatro niveles de *Bacillus subtilis*, concluyendo en que el nivel de *Bacillus subtilis* con 500 mL/ha aplicado al suelo, redujo la incidencia de *Fusarium* entre 49% al 61%, indicando que la cepa de *Bacillus subtilis* pudo sobrevivir bien en la rizosfera del pepino, suprimió el crecimiento de *Fusarium* en la rizosfera del pepino y protegió al huésped del patógeno, esto fue evidenciado ya que se muestra que la localización de las células bacterianas, el patrón de colonización y la supervivencia de *B. subtilis* en la rizosfera del pepino, se examinó mediante microscopía fluorescente observando una alta colonización del agente biológico en la rizosfera del pepino controlando *Fusarium oxysporum*.

En el Valle del Cauca, Colombia, Leguízamo et al. (2014), evaluaron el control de *Fusarium spp.*, mediante la aplicación de *Bacillus subtilis* en cuatro concentraciones (100, 75, 50 y 25%), reportando que *Bacillus subtilis* inhibió el crecimiento micelial de *Fusarium*, logrando una reducción de microconidias y clamidosporas del patógeno, además, no se reportaron en esta investigación efectos fitotóxicos de los metabolitos producidos por el *Bacillus subtilis* en las plántulas de tomate, asegurando de esta manera la efectividad del uso de *Bacillus subtilis* como agente biológico.

En México, Mejía et al. (2016), evaluaron el control de *Fusarium solani*, mediante la aplicación de *Bacillus subtilis* en ají, reportando que *Bacillus subtilis* produjo una inhibición del crecimiento micelial de este hongo en un rango de 21,3 y 71,7%. Asimismo, el *Bacillus subtilis* llegó a reducir la severidad de la enfermedad ocasionada por *Fusarium solani* en un 37,8% con una eficacia de control mayor al 50%. No obstante, esta rizobacteria tiene como capacidad de generar ácido salicílico, la cual es responsable de la inducción de resistencia sistémica.

Khan et al. (2018) en Estados Unidos, evaluaron la actividad antifúngica de *Bacillus subtilis* sobre *Fusarium solani* en frijol, concluyeron que el agente biológico causaron un 40% de inhibición en el crecimiento radial de *Fusarium* spp. La bacterización de la semilla del guisante con *Bacillus subtilis* condujo a una reducción considerable en la severidad del marchitamiento en las plantas con un aumento de aproximadamente un 35% en la biomasa de la planta seca en comparación con las plantas no inoculadas que crecen en suelo infestado por *Fusarium*. Las paredes celulares de *Fusarium* están compuestas de quitina,  $\alpha$ -1,3-glucanos y  $\beta$ -1,3-glucanos, lo que sugiere que las enzimas degradantes de quitina y/o glucanasas probablemente sean responsables de que *B. subtilis* reduzca las hifas del *Fusarium*.

### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

Díaz (2019), en su trabajo de tesis realizado sobre la evaluación del control de *Fusarium oxysporium* con el uso de *Bacillus subtilis* en condiciones de el Valle de Monzón, Huánuco del Perú, obteniendo que el *Bacillus subtilis* reportó un porcentaje de inhibición de 71%, indicando actividad antagonista sobre *Fusarium oxysporum*, siendo la competencia de nutrientes y espacio como la acción del agente biológico.

Leon y Mattos (2015) en Lima, Perú, evaluando el control de *Fusarium* con el uso de biocontroladores entre ellos el *Bacillus subtilis*, concluyendo que *Bacillus subtilis* obtuvo un efecto de control de *Fusarium* con una inhibición micelial mayor del 60%, además, indicando que *Bacillus subtilis* genera metabolitos cuya capacidad es de llegar a inhibir todo crecimiento del *Fusarium* causando lisis celular o ruptura de la membrana de la célula del hongo, además dicha rizobacteria estimula el crecimiento y con ello aumenta el rendimiento del cultivo.

Plasencia (2019) en La Libertad, Perú, evaluó la inhibición de bacterias aisladas de la rizósfera de diferentes cultivos entre aquellas bacteria el *Bacillus subtilis* sobre el control diferentes hongos fitopatógenos, tal como *Fusarium oxysporum*, concluyó en su investigación que *Bacillus subtilis* inhibió el crecimiento micelial y detuvo el desarrollo de *Fusarium oxysporum* en un 34,5%, señalándolo como un fuerte agente biológico.

Chanta y Ruíz (2018) en Lambayeque, Perú, evaluaron el control de hongos que integran el género *Fusarium*, los cuales son los que causan la pudrición en raíces mediante la aplicación de *Bacillus subtilis* en tomate, concluyeron que la aplicación de *Bacillus subtilis* no controló los hongos de *Fusarium* durante la emergencia de plántulas de tomate, ya que se obtuvo un resultado de 58% de emergencia, con un porcentaje de sobrevivencia de un 60,95% de plantas de tomate y con resultados de severidad de este hongo que produce la pudrición de raíces con rangos entre 40,1 a 52,1%, esto indica que *Bacillus subtilis* tiende a demorar para colonizar el sistema radicular del cultivo. Sin embargo, a manera que continua el ciclo del cultivo, el *Bacillus subtilis* reportó 72,58% de inhibición demostrando un biocontrol del *Fusarium*, debido a que la planta obtuvo mayor altura, además de mayor longitud de raíz y peso radicular y foliar.

Reyes et al. (2019) evaluaron el biocontrol del marchitamiento vascular (*Fusarium solani*) del frijol empleando *Bacillus subtilis* en condiciones de Lima, Perú, reportaron que *Bacillus subtilis* aislado del suelo llegó a generar mayor peso seco logrando obtener 0,42g por planta de frijol, con peso seco de raíz de 0,03 g y peso seco de tallo con 0,39 g, en cuanto a peso fresco de tallo fue de 4,63 g y de raíz con 0,19g y con una longitud total de raíz de 17,23cm, en cambio para severidad reportó un grado de 5 y 61,54% de incidencia, destacando sobre los controles. Mientras que la cepa comercial de *Bacillus subtilis* reportó buen peso seco de planta con 0,32g y una longitud de raíz de 19,38cm, en cuanto a la severidad obtuvo grado “1” e incidencia de 53, 85%. Señalando que es un biocontrolador efectivo del *Fusarium solani*.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Origen de la vainita**

La vainita es originario de América Central, constituyendo a las naciones de México (lado sur), Guatemala, Honduras e incluido a Costa Rica. La historia del origen de la vainita inicia desde 1492, donde se extendieron desde el norte y suroeste de Estado Unidos siendo los agricultores que iniciaron con el mejoramiento entre los años de 1890, debido al interés de nuevas variedades con vainas de bajo contenido de fibras(Camarena et al., 2012).

## 2.2.2 Taxonomía del cultivo de vainita

Según Mori (2017) el cultivo de vainita presenta la siguiente taxonomía:

Reino: Plantaea

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosididae

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faaboideae

Tribu: Phaseoleae

Género: Phaseolus

Especie: *Phaseolus vulgaris*

Nombre común: Vainita

### Descripción Botánica

#### Morfología

La vainita es un cultivo anual, de ciclo corto, alcanza una altura de 0,2 a 1,5 m. Las plantas son herbáceas y rastrera, las vainas son verdes. Camarena et al. (2012) describe las siguientes órganos de la planta de vainita.

#### Raíz

La raíz es fibrosa, con presencia de nódulos estas tienen una forma poliédrica, estos nódulos son originados por la colonización de bacterias que pertenecen al gran género *Rhizobium*, quienes presentan cualidades para fijar el nitrógeno atmosférico para proporcionar a la planta llegando a presentar una simbiosis.

#### Hojas

La hoja de la vainita presenta algo de dos tipos las cuales son la hoja simple y la hoja compuesta pero ambas son trifoliadas, su forma es triangulada ovalada y triangular. Este órgano es donde se genera la producción de fotoasimilados.

## **El tallo**

El tallo de la vainita es una planta herbáceo, presenta una forma cilíndrica casi angular debido a su epidermis y de donde se forma las ramas y de ellas las hojas, este sirve de sostén de las flores y las vainas

## **La Flor**

En la planta de vainita en la época de floración se forma a partir de la yema reproductiva la flor la cual es una papilionácea, con una simetría bilateral, además, es una flor que presenta los dos órganos sexuales y esta buena estructura que tiene dicha flor es la que influye a que ocurra la autopolinización lo que le incluye a este tipo de polinización al grupo de las plantas autógamias.

## **El Fruto o vaina**

El fructificación es un evento que se realiza después de la floración en donde la flor polinizada llega a fructificar si es que ocurre un paso de agua y fotoasimilados a la misma siendo ese caso el ovario de esa flor cuaja y se forma un tipo de vaina que muestra dos valvados luego de algunos días se va dando forma aplanada y de acuerdo a la variedad puede llegar a medir entre 7,1 a 20,1 cm e incluso más, pero no solo depende de la variedad también depende del manejo que se realiza. La cosecha tiene que ser en verde ya que este tipo de vainita es bajo en fibra.

### **2.2.3 Fenología de la coliflor**

Las fases se dividen en dos etapas la vegetativa y la reproductiva. Mori (2017) señala que la vainita inicia con la etapa vegetativa (V), siendo la germinación de la planta la etapa V-0, luego la etapa V-1 (emergencia), la etapa V-2 (primera hoja trifoliada), la etapa V-3 (inicio de zarcillos) y la etapa V-4 (tercera hoja trifoliada). Seguido de ello, inicia la etapa reproductiva (R).

La floración comienza entre los 20 y 40 días, siendo la etapa R5(prefloración), etapa R6 (plena floración), etapa R7(formación de vainas), etapa R8 (llenado de vainas) y la etapa R9(maduración), esta etapa fenológica terminan cuando culmina el desarrollo la semilla.

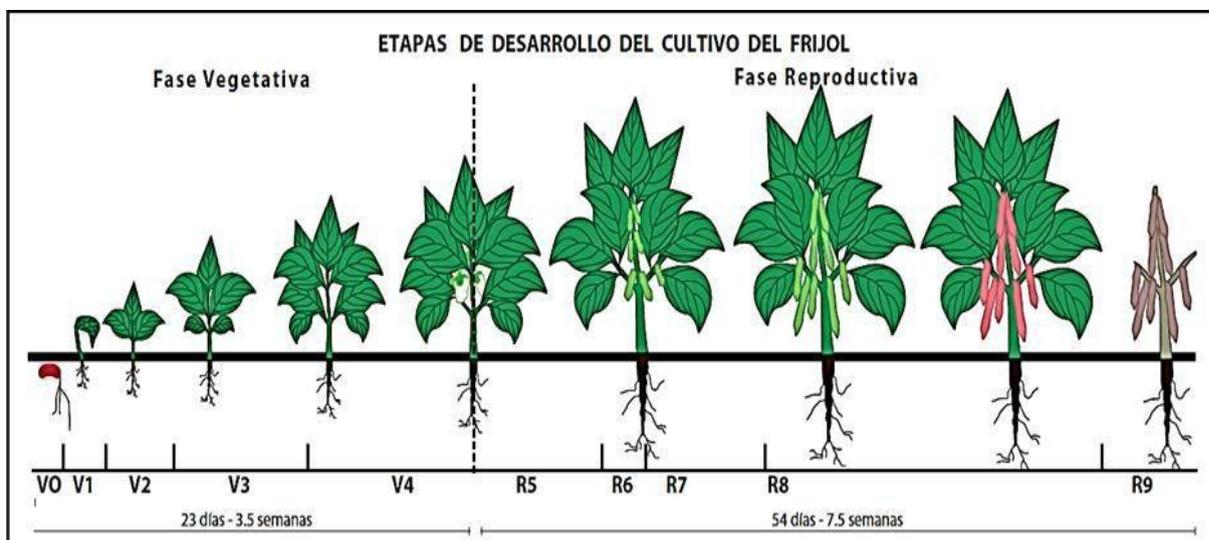


Figura 1. Estados fenológicos de la vainita. Fuente: IICA (2009).

#### 2.2.4 Requerimiento de clima

Camarena et al. (2012) señalan que la vainita requiere de un clima tropical, subtropical y clima templado, llegando a una altitud de 1200 a 2500 msnm. Además, requiere a temperatura ente 16 a 20°C. En cuanto puede soportar a temperaturas mínimas de 2° C, sin embargo la temperatura mínima para floración de 10 y 12°C. En cuanto a las altas temperatura reduce la viabilidad del polen, llegando a la caída de la flor y la formación de vainas.

#### 2.2.5 Requerimiento de suelo

La vainita presenta una alta adaptación de tipos de suelos, que contiene alto contenido de materia orgánica, de textura media (francos), la vainita tolera suelos ácidos, requiriendo suelos con un pH de 5.5 a 7. La profundidad de suelo para que se adapte bien necesita de alrededor de 60 cm, con un buen drenaje interno (Galán, 2011).

### 2.2.1 Variedad Jade

La variedad Jade es una típica vainita americana se caracteriza debido a que es una variedad precoz, la vaina es larga y recta, además tiene una alta adaptación a las diferentes condiciones climáticas del Perú y tiene un buen rendimiento (Mori, 2017). Las rizobacterias en la vainita limitan su actividad cuando los agricultores realizan aplicaciones excesivas de fungicidas químicos para controlar hongos patógenos del suelo que generan en la planta pudrición radicular (Mendoza y Pazmiño, 2021).

### 2.2.2 Pudrición seca de la raíz provocada por *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli*

La pudrición radicular es una enfermedad provocada por el género de *Fusarium* quien es un complejo de hongos ascomicetos, que forman parte de los hongos patógenos con importancia agrícola, debido a las pérdidas que llegan a provocar, causando así grandes pérdidas en el rendimiento (Khan et al., 2018). Asimismo, la pudrición seca de la raíz es provocada por el hongo *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* (Burkholden) Snyder y Hansen quien presenta a infectar en cualquier etapa fenológica del cultivo, pero lo más importante es que tal hongo ingresa a través de la raíz y van obstruyendo los tejidos conductores por lo que se muestran los síntomas luego de la infección siendo un mayor problema para el control químico (Cruz-Triana et al., 2018).

Los síntomas se ven visibles en las primeras etapas fenológicas del cultivo, antes y en plena floración mostrando hojas cloróticas, deshidratadas y lesiones hundidas de color rojizo (Granados-Monteros et al., 2021). Si los agricultores no realizan aplicaciones la planta llega a morir a los 19 a 22 días, pero si los agricultores realizan aplicaciones químicas pero las condiciones ambientales son de 22 y 28 °C de temperatura y alta humedad relativa la estructura vegetativa del hongo el cual sobrevive en el suelo vuelve a infectar la raíz provocando nuevamente la enfermedad (Navarrete–Maya et al., 2009).

Además, los síntomas de la infección del *Fusarium solani* se muestran más visibles en las etapas fenológicas de V4 (tercera hoja trifoliada), R5 (prefloración) y R6 (plenafloración) mostrando hojas cloróticas, deshidratadas y lesiones hundidas de color rojizo (Granados-Monteros et al., 2021). Las raíces afectadas presentan un tejido muerto pero se mantiene seco (Infante, 2017). Además, las plantas con síntomas tienen menor crecimiento pero se forman raíces adventicias en la planta que inducen a sobrevivir (Galán, 2011).

### 2.2.3 Síntomas del *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli*

Los síntomas se muestra luego de la infección de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* la inicia cuando las clamidosporas que se encuentra de forma latente en el suelo llega a germinar y esto ocurre por el estímulo de los exudados de raíces de planta de vainita y los micelios se desarrollan de 6 a 8 hr y luego de 2 a 3 día se van formando nuevas clamidosporas (Li et al., 2017). Las estructuras del hongo de suelo penetra la barrera de la raíz ingresando a su tejido celular y produciendo hifas que luego se convierte en clamidosporas luego de 10 días aproximadamente y en el sistema vascular xilemático se encuentra hifas del hongo (Guo et al., 2015).

Entonces la infección continua se provoca los primeros síntomas en el tejido vascular de la planta ya que se obstruyen los vasos xilemáticos lo que provoca un aintereferencia con la conducción de los nutrientes si no se realiza nada la infección continua y a los 22 días la planta puede llegar a morir produciennitud de clamidosporas que las libera al suelo (Cruz-Triana et al., 2018).

Los síntomas que se muestran en la planta se da por un daño que se visualiza como unas franjas de color rojiza en las raíces en cambio en el follaje no se observan pero si algunos agricultores pueden notar un bajo crecimiento, estos síntomas pueden ir incrementándose provocando lesiones más notorias cuando no se llega aplicar nada, esas franjas rojizas llegan a unirse y producen un color café y esta lesión llega al cuello de la planta, donde la planta no llega a tomar sus nutrientes y agua provocando un menor crecimiento y daños en las hojas por el efecto de esta pudrición de las raíces y al avanzar el daño las raicillas mueren por tanto no hay absorción de calcio y otro nutrientes provocando un fácil ingreso de otros hongos dañinos a la planta (Wafaa et al., 2014). Así mismo, en tallos, se observa daños con un color negro además de bajo crecimiento y clorosis en las hojas hasta llegar a la muerte de la planta (Carvalho et al., 2014).

Se muestran diferencias del síntoma por chupadera en frijol, ya que los síntomas de *Fusarium solani* muestran lesiones y estas se juntan, se tornan de color rojizo a café y extienden por la superficie del suelo (Figura 2-a). En cambio la pudrición de las raíces por el hongo de *Pythium spp.*, llega a causar el ahogamiento de plántulas del frijol (Figura 2-b) (FAO, 2015).



Figura 2. Diferencias del síntomas por chupadera en vainita, a) lesiones del sistema radicular a plantas de vainita por *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* y b) daño al sistema radicular principal en plántulas de vainita por *Pythium* spp. Fuente: FAO (2015).

#### 2.2.4 Control biológico de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli*

La mayoría de las bacterias estudiadas que presentan actividad de biocontrol en los hongos patogénicos son las pseudomonas y las especies del género *Bacillus*, que utilizan diversos mecanismos para el biocontrol de *Fusarium*, incluida la competencia por nutrientes mediada por sideróforos los cuales quelatan al hierro, la producción de antibióticos y la resistencia sistémica inducida (Khan et al., 2018).

Los microorganismos del suelo mantienen una dinámica con las propiedades del suelo, y están en mayor proporción cuando existe mayor materia orgánica en el suelo, además tienen la capacidad de proporcionar de nutrientes a las plantas. Sobre todas las rizobacterias, las cuales generan disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas. Estas se encuentran en la rizosfera, y los diferentes microorganismos que habitan en toda rizosfera de la planta se encuentran las rizobacterias que realizan simbiosis con el nitrógeno, existen las micorrizas y también las conocidas rizobacterias que son promotoras

del crecimiento vegetal (PGPR) tal como las especies del *Bacillus* (Mendoza y Pazmiño, 2021).

Las leguminosas están fuertemente asociadas a las rizobacterias, sobre todo las rizobacterias que llegan a fijar nitrógeno de la atmósfera y las vuelven más disponibles para las plantas y estas sobreviven en las raíces de todas las plantas leguminosas y forman nódulos en las raíces. Por lo tanto, los rizobios hacen simbiosis con todas las leguminosas (Chipana, 2017). Sin embargo, existen otras rizobacterias que proporcionan nutrientes a las plantas y estos son conocidos como Rizobacterias PGPR (Anguiano et al., 2019).

### **2.2.5 Biocontrolador a base de *Bacillus subtilis***

La estrategia que se utiliza para hacer frente a estos problemas y así controlar la pudrición radicular en la vainita, es el uso de la rizobacteria *Bacillus subtilis*. Hazarika et al. (2019) mencionan que *Bacillus* es un agente biológico del suelo que presenta la capacidad de producir metabolitos antibióticos, la producción de enzimas hidrolíticas las cuales contienen una acción antagónica contra los hongos patógenos. Reyes et al. (2019) menciona que este biocontrolador es efectivo por su generación de ciertos compuestos con capacidad antifúngica tal como el subtilina, también se muestra otros compuestos con actividad antibiótica que pertenece a la familia de las Iturinas, siendo estos diferentes compuestos las encargadas de actuar en la membrana celular de los hongos patógenos.

Además, el *Bacillus subtilis* es una rizobacteria que actúa como promotor del crecimiento vegetal conocida por sus siglas RPCV (Mendoza y Pazmiño, 2021). Por tanto, el *Bacillus* es un agente biológico que está asociada a la planta (Mejía et al., 2016). Urviola y Ordoñez (2020) sostienen que este agente actúa como solubilizador del ion fosfato, de esta manera la planta tiene mayor facilidad de absorción de este nutriente que presenta una alta reacción y fijación con los coloides y elementos del suelo, dificultando su movilidad y absorción por la planta. Por lo que también, aumenta los parámetros de crecimiento de las plantas de la leguminosa, es decir, altura de la planta, peso de la planta, número de vaina/planta, peso de la vaina, número de semillas/planta y otros (Wafaa et al., 2014).

### 2.3 Definiciones conceptuales

**Antagonismo:** Es un término usado para clasificar a los microorganismos que mediante la liberación de sustancias químicas o enzimas degradan la pared celular de los hongos fitopatógenos o producen metabolitos que matan o detienen el crecimiento de las hifas del patógeno (Mejía et al., 2016).

**Biocontrol:** Se refiere a la capacidad que tiene el microorganismo clasificado como antagonico que detiene el crecimiento de las hifas de los microorganismos patógenos y por tanto, tienen una acción de biocontrol (Chipana, 2017).

**Enfermedad:** Se refiere al daño provocado por los microorganismos patógenos en las plantas y se expresan por los síntomas de estos (Chipana, 2017).

**Rizobacterias:** Se refiere a las bacterias con actividad de biocontrol de enfermedades por microorganismos patógenos y así también a las bacterias simbióticas que fijan nitrógeno de la atmosfera a la planta (Wafaa et al., 2014).

**Rizosfera:** Se refiere a la zona que se encuentra alrededor del sistema radicular de las plantas y donde esta deposita o evacua sustancias o compuestos orgánicos de los procesos metabólicos celulares (Hazarika et a., 2019).

**Sideróforos:** Se refiere a la capacidad que tiene el microorganismo de liberar compuestos orgánicos con actividad quelatante, donde el sideróforo quelata al hierro el cual es un nutriente que se encuentra insoluble en el suelo por causas de las propiedades del suelo, entonces el sideróforo permite quelatar y que el hierro sea soluble y es fácilmente absorbido por la planta (Hazarika et a., 2019).

**Simbiosis:** Se refiere a la colonización de bacterias que pertenecen al gran genero Rhizobium, las cuales presentan como capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico para proporcionar a la planta llegando a presenta una simbiosis y la planta le proporciona azucares para que la bacteria se desarrolle (Mejía et al., 2016).

## **2.4 Hipótesis de la investigación**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Ho: Las dosis de *Bacillus subtilis* influyen en el control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita bajo las condiciones de Cañete.

Ha: Las dosis de *Bacillus subtilis* no influyen en el control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita bajo las condiciones de Cañete.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

Ho: Las dosis de Teosim (*Bacillus subtilis*) influyen en los parámetros biométricos del cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

Ha: Las dosis de Teosim (*Bacillus subtilis*) no influyen en los parámetros biométricos del cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

Ho: Las dosis de *Bacillus subtilis* influyen en la incidencia, severidad y eficiencia de control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

Ha: Las dosis de *Bacillus subtilis* no influyen en la incidencia, severidad y eficiencia de control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

## **CAPITULO III. METODOLOGIA**

### **3.1 Diseño Metodológico**

#### **3.1.1 Ubicación**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el distrito Nuevo Imperial de la provincia de Cañete, ubicado en la Región Lima, geográficamente se encuentra entre las coordenadas UTM -13.087063, -76.248635 a una altitud de 203 m.s.n.m.

#### **3.1.2 Materiales e insumos**

Los materiales e insumos que se utilizaron fueron:

- Semillas de vainita variedad Jade
- Teosium de la firma comercial Agrobiótico
- Recipientes de plástico de 10, 100 y 1000ml
- Fertilizantes NPK
- Letreros
- Cuaderno de campo
- Balanza analítica
- Regadera
- Vernier
- Wincha
- Cal
- Cordel
- Cámara fotográfica
- Laptop
- Otros
- Cámara digital

### 3.1.3 Diseño experimental

El experimento se instaló siguiendo un diseño de bloques completo al azar DBCA con cuatro repeticiones disponiendo de un total de 16 unidades experimentales. Para la comparación de promedios de los tratamientos se empleó la prueba de medias de Scott-Knott al nivel de  $\alpha = 0.05$  (Tabla 1).

Tabla 1

*Análisis de varianza para cada variable evaluada*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suuma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F.cal	Valoor de P
Bloques	(r-1)	3			
Trattamientos	(t-1)	3			
Error	(t-1)(r-1)	9			
Total	(tr-1)	16			

Coeeficiente de vaariabilidad Co.Va. (%):

### 3.1.4 Tratamientos

Los tratamientos se asignaron de acuerdo ala Tabla 2.

Tabla 2

*Tratamientos en estudio*

Tratamiento	Nombre	Nivel	Dosis	Descripción
T1	Testigo	Sin aplicación	Sin aplicación.	Testigo
T2	Teosim	Bajo	250 ml de <i>Bacillus subtilis</i> en 200 litros de agua/ha aplicado vía drench.	Dosis de 250 ml/ha de <i>Bacillus subtilis</i>
T3	Teosim	Medio	500 ml de <i>Bacillus subtilis</i> en 200 litros de agua/ha aplicado vía drench.	Dosis de 500 ml/ha de <i>Bacillus subtilis</i>
T4	Teosim	Alto	750 ml de <i>Bacillus subtilis</i> en 200 litros de agua/ha aplicado vía drench.	Dosis de 750 ml/ha de <i>Bacillus subtilis</i>

Fuente: elaboración proopia

### **3.1.5 Características del área experimental**

El área donde se llevó el experimento tiene las siguientes características c:

#### **Dimensión de cada unidad experimental**

Número de surcos: 4

Distancia entre planta: 0,3m

Distancia entre surco: 0,7m

Densidad de siembra: 47620 plantas

**Número de plantas por unidad experimental: 50 plantas**

Ancho de calle: 1m

Largo: 3 m

Ancho: 3,5 m

Área: 10,5 m<sup>2</sup>

#### **Dimensión de cada bloque**

Largo: 3 m

Ancho: 14 m

Área: 42 m<sup>2</sup>

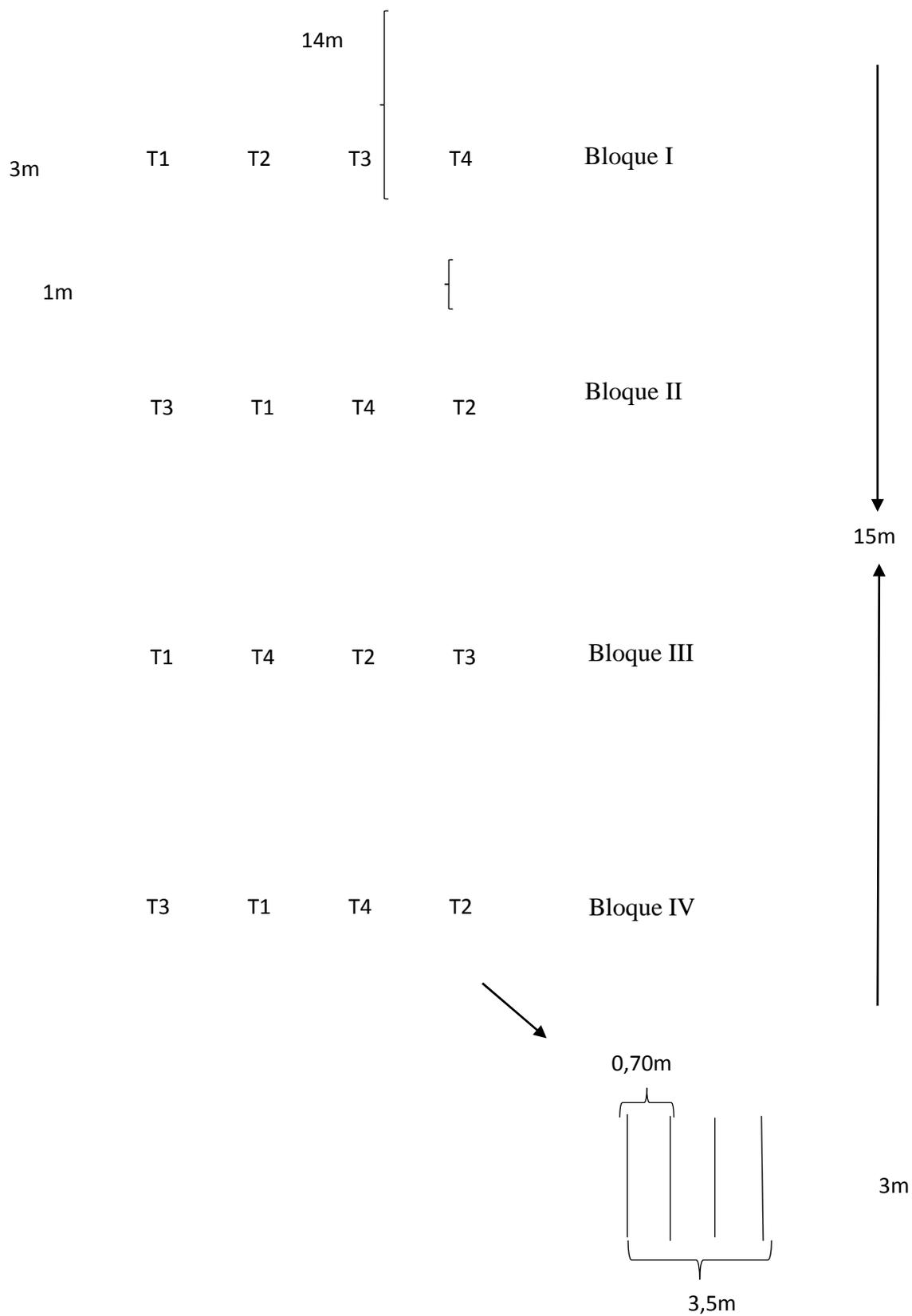
Número de bloques:4

#### **Dimensiones del campo experimental**

Largo efectivo:15 m

Ancho efectivo:14 m

Área efectiva:210 m<sup>2</sup>



### 3.1.6 Variables a evaluar

#### Variable independiente (X):

- **Dosis de 0 ml/ha ( $X_1$ ).** Se utilizó la capacidad de 200 litros de agua, para la aplicación vía drench del cultivo de vainita y fue convertido de acuerdo al área del campo experimental.
- **Dosis de 0,250 ml/ha de *Bacillus subtilis* ( $X_2$ ).** La dosis usada fue de 250 ml de *Bacillus subtilis* por cada 200 litros de agua por hectárea, y será convertido de acuerdo al área de la parcela experimental, para la aplicación vía drench del cultivo de vainita.
- **Dosis de 0,500 ml/ha de *Bacillus subtilis* ( $X_3$ ).** La dosis usada fue de 500 ml de *Bacillus subtilis* por cada 200 litros de agua por hectárea, y fue convertido de acuerdo al área de la parcela experimental, para la aplicación vía drench del cultivo de vainita.
- **Dosis de 0,750 ml/ha de *Bacillus subtilis* ( $X_4$ ).** La dosis usada fue de 750 ml de *Bacillus subtilis* por cada 200 litros de agua por hectárea, y fue convertido de acuerdo al área de la parcela experimental, para la aplicación vía drench del cultivo de vainita.

#### Variable dependiente (Y):

Como variables dependientes fueron consideradas las variables que permitan determinar el desarrollo del cultivo y los factores que incidan en el rendimiento.

**Altura de planta ( $Y_1$ ):** Se midió desde la base de la planta hasta el punto apical de la flor terminal por cada parcela del experimento.

**Número de vainas por planta ( $Y_2$ ):** Se llegó a contar el número de vainas de cada planta encada parcela experimental.

**Largo de vaina ( $Y_3$ ):** Se midió la longitud de la vaina por cada parcela experimental.

**Diámetro de vaina (Y<sub>4</sub>):** Se midió el diámetro de la vaina por cada parcela experimental.

**Rendimiento total (Y<sub>5</sub>):** Se pesó todas las vainas de las plantas muestreadas por cada parcela experimental.

**Pudrición radicular (Y<sub>6</sub>):** Se realizó la evaluación de la enfermedad durante la etapa fenológica R8, de acuerdo a la metodología propuesta por Tarabata (2020) a partir de la escala de severidad que presentó la enfermedad en la planta, el cual está entre 1=no presenta síntomas o son muy débiles a 9=tejido radicular muy afectado.

Tabla 3

*Escala general para evaluar el grado de severidad de infección de la pudrición radicular en vainita*

<b>Grado de severidad</b>	<b>% de raíz afectada (%)</b>	<b>Descripción</b>
1	0	Sin síntomas visibles o muy leves.
3	1 - 10	Tejido radicular cubierto de lesiones y decoloración ligera.
5	11 - 25	Tejido radicular cubierto de lesiones, decoloración intensa, pero tejidos permanecen firmes.
7	26 - 50	Tejido radicular cubierto con lesiones combinadas con un ablandamiento, cierta pudrición y bajo crecimiento del sistema radicular.
9	51 – >70	Tejido radicular afectado por etapas avanzadas de pudrición combinado con una severa reducción

Fuente: Navarrete et ál. (2009) citado por Tarabata (2020)

**Incidencia (Y<sub>7</sub>):** Se contó el número de plantas afectadas sobre el número de plantas de la parcela experimental y se expresará en %.

**Eficiencia de biocontrol (Y<sub>8</sub>):** Se determinará la eficiencia de control de *Fusarium solani* mediante la aplicación de *Bacillus subtilis* a través de la severidad de la enfermedad.

### **3.1.7 Conducción del experimento**

#### **Preparación del campo experimental**

La preparación del campo fue el 17 de noviembre del 2021 donde se realizó la limpieza de la maleza, luego se hizo el roturado del suelo con yunta, después se trazó el campo experimental con estacas, cordeles y wincha, luego se realizó el surcado del campo con un distanciamiento de 0,70m y se aplicó un riego de machaco.

#### **Aplicación de *Bacillus subtilis***

Una vez preparado el suelo, se aplicó los tratamientos de *Bacillus subtilis* el 6 de noviembre del 2021, usando un cilindro de capacidad de 200 litros de agua por hectárea para la mezcla de las dosis, está se aplicó vía drench con un regadera.

#### **Siembra de la vainita**

Se sembró con tres semillas por golpe a una distancia de 0,3m.

#### **Riego**

Se regó de dos a cuatro días por semana, según la etapa fenológica del cultivo de vainita, para mantener el suelo húmedo y dar condiciones para activar el *Bacillus subtilis* y dar condiciones para su desarrollo de *Fusarium solani*.

#### **Cosecha**

La cosecha de la vainita se realizó el 28 de enero del 2022 (72 días después de la siembra), durante la cosecha la vainas estas tuvieron la madurez fisiológica y se cosechó de forma manual.

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 Población**

La densidad de siembra fue de 47620 plantas/ha, por tanto, el campo experimental tendrá un total de 650 plantas.

### **3.2.2 Muestra**

La muestra estuvo constituido por una cantidad de 10 plantas por unidad experimental.

## **3.3 Técnicas de recolección de datos**

Las mediciones correspondientes de todas las variables estudiadas estuvieron registradas en un cuaderno de campo, y luego se colocaron en una tabla de datos Excel para el ordenamiento de acuerdo al diseño experimental donde se procesaron los datos por cada variable evaluada.

## **3.4 Técnicas para el procedimiento de la investigación**

Las mediciones de todas variables estudiadas registradas en la tabla de datos Excel, fueron analizadas mediante el análisis de varianza según el diseño de bloques completos al azar y para la comparación de todas las medias obtenidas de los tratamientos fueron analizados por la prueba de Scott-Knott con 5% de probabilidad usando el programa estadístico InfoStat estudiantil.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1 Altura de la planta (cm)

Al realizar el análisis de varianza (Tabla 4), se observó diferencias altamente significativas entre los tratamientos en estudio, es decir que los tratamientos tienen un comportamiento heterogéneo. Asimismo, no se ha observado el efecto de los bloques, el coeficiente de variabilidad es de 6,5% lo que indica que la investigación presenta buena precisión experimental.

Tabla 4

*Análisis de varianza para la altura de la planta (cm)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	2,04	0,68	0,11	0,9534 ns
Tratamientos	3	717,48	239,16	37,99	<0,0001**
Error	9	56,67	6,30		
Total	15	776,18			
CV: %	6,5				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La Tabla 5 muestra la prueba de Scott-Knott al 5 % para la altura de planta mostrando el primer lugar los tratamientos Teosim (*Bacillus subtilis*) a 750 ml/ha y Teosim (*Bacillus subtilis*) a 500 ml/ha con promedios de 45,4 y 41,8 cm respectivamente superando a los demás tratamientos siendo el último en el ranking el tratamiento Testigo sin aplicación con la menor altura con promedio de 27,5 cm.

Tabla 5

*Prueba de Scott-Knott al 5% para altura de planta (cm)*

Tratamientos	Altura (cm)
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	45,4 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	41,8 ab
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	38,8 b
Testigo sin aplicación	27,5 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes( $p > 0,05$ ).

## 4.2 Número de vainas por planta (N°)

El análisis de varianza para esta variable se presenta en la Tabla 6 observando valores que indican diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir que los tratamientos tienen un comportamiento heterogéneo. Asimismo, no se ha observado el efecto de los bloques, el coeficiente de variabilidad es de 14,3% este valor medio es considerado como aceptable para trabajo en campo.

Tabla 6

*Análisis de varianza para el número de vainas por planta (n°)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	0,85	0,28	0,09	0,9654 ns
Tratamientos	3	255,71	85,24	26,26	0,0001**
Error	9	29,21	3,25		
Total	15	285,76			
CV: %	14,3				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La prueba de Scott-Knott al 5 % para el número de vainas por planta (Tabla 9) muestra que el primer lugar fue para el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) a 750 ml/ha con promedio de 17,2 vainas por planta superando a los demás tratamientos siendo el último en el ranking el tratamiento Testigo sin aplicación con 6,4 vainas por planta.

Tabla 7

*Prueba de Scott-Knott al 5% para el número de vainas por planta (n°)*

Tratamientos	Promedio (N°)
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	17,2 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	14,6 b
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	12,3 b
Testigo sin aplicación	6,4 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

### 4.3 Largo de vaina (cm)

En relación a largo de vaina la Tabla 8 presenta el análisis de varianza para esta variable donde se observa diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir que los tratamientos en estudio tienen un comportamiento heterogéneo. Asimismo, no se ha observado el efecto de los bloques, el coeficiente de variabilidad es de 1,84% valor considerado aceptable lo que indica que la investigación presenta buena precisión experimental.

Tabla 8

*Análisis de varianza para el largo de vaina (cm)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	2,49	0,83	1,12	0,3904 ns
Tratamientos	3	63,70	21,23	28,68	0,0001**
Error	9	6,66	0,74		
Total	15	72,86			
CV: %	1,84				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La Tabla 9 muestra la prueba de Scott-Knott al 5 % para el largo de vaina mostrando el primer lugar fue para el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) con promedio de 18,7 cm superando a los demás tratamientos siendo el último en el ranking el tratamiento Testigo sin aplicación con el menor promedio de largo de vaina con 13,5 cm.

Tabla 9

*Prueba de Scott-Knott al 5% para el largo de vaina (cm)*

Tratamientos	Promedio de longitud (cm)
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	18,7 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	16,8 b
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	14,7 b
Testigo sin aplicación	13,5 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

#### 4.4 Diámetro de vaina (cm)

En relación al diámetro de vaina la Tabla 10 presenta el análisis de varianza donde se observa diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir que los tratamientos tienen un comportamiento heterogéneo en cambio para bloques no hubo diferencias significativas, es decir que los bloques tienen un comportamiento homogéneo, el coeficiente de variabilidad es de 8,2% lo que indica que la investigación presenta buena precisión experimental.

Tabla 10

*Análisis de varianza para el diámetro de vaina (cm)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	0,02	0,01	0,88	0,4851ns
Tratamientos	3	0,08	0,03	4,59	0,0326*
Error	9	0,05	0,01		
Total	15	0,14			
CV: %	8,2				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La Tabla 11 muestra la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de 5 % para el diámetro de vaina mostrando el primer lugar fue para el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) con promedio de 1,03 cm superando a los demás tratamientos siendo el último en el ranking el tratamiento Testigo sin aplicación con el menor promedio de diámetro de vaina con 0,84 cm respectivamente.

Tabla 11

*Prueba de Scott-Knott al 5% para el diámetro de vaina (cm)*

Tratamientos	Promedio de longitud (cm)
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	1,03 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	0,94 ab
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	0,89 ab
Testigo sin aplicación	0,84 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

#### 4.5 Número de semillas por vaina (N°)

El análisis de varianza para esta variable se presenta en la Tabla 12 observando valores que indican diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir que los tratamientos tienen un comportamiento heterogéneo. Asimismo, se ha observado el efecto de los bloques, el coeficiente de variabilidad es de 4,7% lo que indica que la investigación presenta buena precisión experimental.

Tabla 12

*Análisis de varianza para el número de semillas por vaina (n°)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	1,29	0,43	4,26	0,0394 *
Tratamientos	3	2,44	0,81	8,09	0,0064**
Error	9	0,90	0,10		
Total	15	4,63			
CV: %	4,7				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La prueba de Scott-Knott al 5 % para el número de vainas por planta (Tabla 13) muestra que el primer lugar fue para el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) a 750 ml/ha con promedio de 7,4 semillas por vaina superando a los demás tratamientos, siendo el último en el ranking el tratamiento Testigo sin aplicación con el menor promedio obteniendo 6,3 semillas por vaina.

Tabla 13

*Prueba de Scott-Knott al 5% para el número de semillas por vaina*

Tratamientos	Semillas (N°)
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	7,4 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	6,9 ab
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	6,8 ab
Testigo sin aplicación	6,3 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

#### 4.6 Rendimiento (t/ha)

El análisis de varianza para esta variable se presenta en la Tabla 14 observando valores que indican diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir que los tratamientos tienen un comportamiento heterogéneo. Asimismo, no se ha observado el efecto de los bloques, el coeficiente de variabilidad es de 11,1% considerado como aceptable lo que indica que la investigación presenta buena precisión experimental.

Tabla 14

*Análisis de varianza para el rendimiento (t/ha)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	3,04	1,01	0,91	0,4757 ns
Tratamientos	3	113,94	37,98	33,92	<0,0001 **
Error	9	10,08	1,12		
Total	15	127,05			
CV: %	11,1				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La prueba de Scott-Knott al 5 % para el rendimiento (Tabla 15) muestra que el primer lugar fue para el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) a 750 ml/ha con promedio de 12,45 t/ha superando a los demás tratamientos, siendo el último en el ranking el tratamiento Testigo sin aplicación con el menor rendimiento promedio obteniendo 5,7 t/ha.

Tabla 15

*Prueba de Scott-Knott al 5% para el rendimiento (t/ha)*

Tratamientos	Rendimiento (t/ha)
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	12,45 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	11,6 b
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	8,5 b
Testigo sin aplicación	5,7 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

#### 4.7 Pudrición radicular (Grado)

El análisis de varianza para la variable pudrición radicular en la Tabla 16 observando valores que indican diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir que los tratamientos tienen un comportamiento heterogéneo, para bloques no hubo diferencias significativas, el coeficiente de variabilidad es de 19,8% valor considerado como aceptable para condiciones de campo.

Tabla 16

*Análisis de varianza para la pudrición radicular (grado)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	0,75	0,25	0,27	0,8436 ns
Tratamientos	3	102,75	34,25	37,36	<0,0001**
Error	9	8,25	0,92		
Total	15	111,75			
CV: %	19,8				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La Tabla 17 muestra la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de 5 % para la pudrición radicular mostrando el primer lugar fue para el tratamiento Testigo sin aplicación con grado más alto con 7,5 el cual según la descripción se refiere a “*tejido radicular cubierto con lesiones combinadas con ablandamiento, pudrición y reducción del sistema radicular*” superando a los demás tratamientos siendo el último en el ranking el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) a 750 ml/ha con el menor grado de 1 según la descripción se refiere a “*Sin síntomas visibles o muy leves*”.

Tabla 17

*Prueba de Scott-Knott al 5% para la pudrición radicular (grado)*

Tratamientos	Promedio (grado)
Testigo sin aplicación	7,5 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	5,5 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	2,5 b
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	1,0 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

#### 4.8 Incidencia (%)

En relación a la incidencia mostrada en la Tabla 18 presenta el análisis de varianza donde se observa diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir que los tratamientos tienen un comportamiento heterogéneo. Asimismo, no se ha observado el efecto de los bloques, el coeficiente de variabilidad es de 11,5% valor considerado como aceptable en condiciones de campo.

Tabla 18

*Análisis de varianza para la incidencia (%)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	118,75	39,58	1,16	0,3763 ns
Tratamientos	3	20868,75	6956,25	204,43	<0,0001**
Error	9	306,25	34,03		
Total	15	21293,75			
CV: %	11,5				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La Tabla 19 muestra la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de 5 % para la incidencia mostrando el primer lugar fue para el tratamiento Testigo sin aplicación con promedio de 97,5% de incidencia superando a los demás tratamientos siendo el último en el ranking el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) a 750 ml/ha con el promedio más bajo con promedio de 2,5% de incidencia.

Tabla 19

*Prueba de Scott-Knott al 5% para la incidencia (%)*

Tratamientos	Incidencia (%)
Testigo sin aplicación	97,5 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	70,0 b
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	32,5 c
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	2,5 d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

#### 4.9 Eficiencia de biocontrol (%)

El análisis de varianza para la variable eficiencia de biocontrol en la Tabla 20 observando valores que indican diferencias altamente significativas entre tratamientos, es decir que los tratamientos tienen un comportamiento heterogéneo. Asimismo, no se ha observado el efecto de los bloques, el coeficiente de variabilidad es de 20,1% valor relativamente alto considerado como aceptable para trabajo en campo.

Tabla 20

*Análisis de varianza para la eficiencia de control (%)*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal.	p-valor
Bloques	3	153,37	51,12	0,32	0,8091 ns
Tratamientos	3	18398,43	6132,81	38,70	<0,0001 **
Error	9	1426,26	158,47		
Total	15	19978,06			
CV: %	20,1				

ns=No significativo, \*\*=Altamente significativo

La prueba de Scott-Knott al 5 % para la eficiencia de control (Tabla 21) muestra que el primer lugar fue para el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) a 750 ml/ha con promedio de 86,5% de eficiencia superando a los demás tratamientos siendo el último en el ranking el tratamiento Teosim (*Bacillus subtilis*) a 250 ml/ha con el promedio más bajo de 25,4% de eficiencia.

Tabla 21

*Prueba de Scott-Knott al 5% para la eficiencia de control (%)*

Tratamientos	Eficiencia (%)
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 750 ml/ha	86,5 a
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 500 ml/ha	66,7 ab
Teosim ( <i>Bacillus subtilis</i> ) a 250 ml/ha	25,4 b
Testigo sin aplicación	0,0 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la investigación demuestra que la aplicación Teosim cuyo producto es a base de *Bacillus subtilis* aplicado a dosis de 750 ml/ha reportó efecto significativo en la altura de planta. Estos resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Chanta y Ruíz (2018) quienes evaluando el control del Fusarium (pudrición de las raíces) mediante la aplicación de *Bacillus subtilis* en tomate observaron que dicho producto presenta dos funciones importantes en la planta, una de ellas es el efecto de biofertilizantes en donde la planta aplicada con dicho agente biológico aumento significativamente el crecimiento de la planta ya que al colonizar el sistema radicular produce sustancias orgánicas que solubilizan nutrientes como el fosforo, hierro, zinc y otros que intervienen en el desarrollo y crecimiento de la planta, lo que demuestra que la aplicación de dosis de alta de *Bacillus subtilis* influye en un mayor crecimiento de la planta.

En relación a la longitud y diámetro de vaina, número vainas por planta y número de semillas por vaina la aplicación de Teosim a base de *Bacillus subtilis* a dosis de 750 ml/ha reportó efecto significativo en estas variables biométricas mostrando un mayor crecimiento en la vaina y aumento de vainas por planta. Los resultados también llegan a coincidir con los reportados por Reyes et al. (2019) quienes demuestran que la aplicación de *Bacillus subtilis* a dosis alta se obtiene mayor longitud y diámetro de la vaina y además aumenta el número de vainas por planta y el peso de y esto se debe a que el *Bacillus subtilis* presenta la capacidad de solubilizar nutrientes que influyen en el metabolismo de la planta lo que le infiere en un mayor desarrollo de los diferentes órganos de la planta.

Con respecto al rendimiento total del cultivo de vainita la aplicación de Teosim a base de *Bacillus subtilis* a dosis de 750 ml/ha fue el tratamiento que obtuvo mayor efecto significativo. Este resultado es confirmado por Mendoza y Pazmiño (2021) quienes indican que el *Bacillus subtilis* mantienen una dinámica con las propiedades del suelo, además tienen la capacidad de proporcionar de nutrientes a las plantas, así también tienen la capacidad de ser simbióticas con las leguminosas ya que han demostrado fijación del nitrógeno, por tanto están clasificadas como rizobacterias promotoras del crecimiento en el cultivo de vainita llegando a mostrar significancia en la variables biométricas del cultivo.

Asimismo, Chipana (2017) confirma que toda planta leguminosa están fuertemente asociadas a las rizobacterias tal como es el caso del *Bacillus subtilis* quienes colonizan el sistema radicular y fijan nitrógeno haciendo simbiosis con la planta leguminosa. No obstante Urviola y Ordoñez (2020) sostienen que *Bacillus subtilis* actúa como solubilizador del ion fosfato, de esta manera la planta tiene mayor facilidad de absorción de este nutriente por ello que aumenta las características que influyen en el crecimiento de las plantas leguminosas, tales como; altura de la planta, peso de la planta, número de vaina/planta, peso de la vaina, número de semillas/planta y otras variables ya antes mencionadas. En la relación a la pudrición radicular los resultados obtenidos demuestran que la aplicación Teosim a base de *Bacillus subtilis* aplicado a dosis de 750 ml/ha reportó efecto significativo manteniendo a las raíces sanas sin presencia de síntomas visibles o lesiones en las raíces en las plantas de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete. Estos resultados se asemejan a Khan et al. (2018) quienes evaluaron la actividad antifúngica de *Bacillus subtilis* sobre *Fusarium solani* en frijol, encontraron una reducción considerable en la severidad del marchitamiento en las plantas con un aumento de aproximadamente al 100% de raíces sanas en las plantas aplicadas, dicho resultado se debe a que las paredes celulares de *Fusarium* están compuestas de quitina,  $\alpha$ -1,3-glucanos y  $\beta$ -1,3-glucanos, lo que sugiere que las enzimas degradantes de quitina y/o glucanasas probablemente sean responsables de que *B. subtilis* reduzca las hifas del *Fusarium*. Con respecto a la incidencia Leon y Mattos (2015) evaluando el control de *Fusarium* con el uso de *Bacillus subtilis*, demostraron que el agente obtuvo una inhibición micelial mayor del 60%, además, indicando que dicha bacteria reduce la incidencia de la enfermedad en las plantas aplicadas ya que produce metabolitos que inhiben el crecimiento del *Fusarium* causando lisis celular, además, estimula el crecimiento del cultivo.

Por último, el porcentaje eficiencia de control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* reportó un alto porcentaje al usar Teosim a base de *Bacillus subtilis* aplicado a dosis de 750 ml/ha, resultado corroborado por Díaz (2019) quien evaluó el control de *Fusarium oxysporium* con el uso de *Bacillus subtilis* y encontró un porcentaje de más del 71%, indicando actividad antagonista sobre *Fusarium oxysporium*, siendo la competencia de nutrientes y espacio como la acción del agente biológico. Así como también la producción de enzimas y también otros compuestos con actividad antibiótica como las Iturinas, siendo estos las encargadas de actuar en la membrana celular del *Fusarium* tal como menciona Reyes et al. (2019).

## CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Con los resultados obtenidos y discutidos en la investigación se concluye:

La aplicación del producto Teosim a base de *Bacillus subtilis* a dosis de 750 ml/ha reportó efecto significativo en *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade bajo las condiciones de Cañete.

La aplicación de Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 750 ml/ha respecto a las características presentó los resultados más altos: altura de planta (45,4cm), número de vainas por planta (17,2 vainas), longitud de vaina (18,7cm), diámetro de vaina (1,03cm), número de vainas por planta (7,4 semillas) y rendimiento total (12,45 t/ha).

La aplicación de Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 750 ml/ha en relación a las evaluaciones de la enfermedad del *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli*: pudrición radicular (grado 1), incidencia (2,5%) y eficiencia de control (86,5%).

### 6.2 Recomendaciones

De los resultados y las conclusiones obtenidos en la investigación se recomienda lo siguiente:

Recomendar la aplicación de Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 750 ml/ha para el control de *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* en el cultivo de vainita variedad Jade en condiciones de Cañete.

Validar los datos obtenidos realizando la investigación nuevamente en la misma zona de ejecución usando la metodología y de esta manera comprobar los resultados.

Recomendar realizar ensayo con el uso de Teosim (*Bacillus subtilis*) a dosis de 750 ml/ha para controlar *Fusarium solani* en otros cultivos.

## CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anguiano, J. C., Flores, A., Olalde, V., Arredondo, R. y Laredo, E. I. (2019). Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth. *Revista Bio Ciencias* 6, e418. Doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e418>.
- Burin D., Y. (2016). *Rendimiento de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo tres láminas de riego por goteo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1999>
- Camarena F., Huaranga A., Mostacero E. y Patricio, M. (2012). *Tecnología para el incremento de la producción del frijol vainita (Phaseolus vulgaris L.) para la exportación*. 1er Ed. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Carvalho, D.C., Lobo-Junior, M., Martins, I., Inglis, P.W. and Mello, S. (2014). Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* by *Trichoderma harzianum* and its use for common bean seed treatment. *Tropical Plant Pathology* 39(5): 384–391. <https://doi.org/10.1590/s1982-56762014000500005>.
- Cao, Y., Zhang, Z., Ling, N., Biao S., and Qirong, S. (2011). *Bacillus subtilis* SQR 9 can control Fusarium wilt in cucumber by colonizing plant roots. *Biology and Fertility of Soils*, 47, 95–506. Doi: 10.1007/s00374-011-0556-2.
- Chanta, J. y Ruíz, M. (2018). *Potencial de Bacillus spp. en el control de hongos del género Fusarium causantes de pudrición en raíces de Lycopersicon esculentum Mill.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4916>
- Chipana, V., Clavijo, C., Medina, P. y Castillo, D. (2017). Inoculación de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes concentraciones de *Rhizobium etli* y su influencia sobre el rendimiento del cultivo. *Ecología Aplicada*, 16(2), 91-98. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v16n2/a03v16n2.pdf>
- Cruz-Triana, A., Rivero-Gonzalez, D., Infante, D., Echevarría, A. y Martínez-Coca, B. (2018). Manejo de hongos fitopatógenos en *Phaseolus vulgaris* L. con la aplicación de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg. *Revista de Protección Vegetal*, 33(3), 1-7. URL: <http://opn.to/a/FxAlu>.

- Díaz, Y. (2019). *Aislamiento y caracterización de cepas nativas de Bacillus spp y Trichoderma spp de la rizosfera de café con potencial antagonista frente a Fusarium oxysporum del valle de Moonzón–Huanuco–Perú* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10188>
- Food and agriculture organization - FAO. (2015). Título: Manejo e identificación de enfermedades que afectan las raíces en el cultivo de frijol. Recuperado de: <https://teca.apps.fao.org/teca/es/technologies/8389>.
- Galán, R. (2011). *Etiológica y control del agente causal de la pudrición radicular en el cultivo de haba (Vicia faba L.) Huancabamba, Piura* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú. Recuperado de: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2212196>
- Granados–Montero, M.M., Chaves-Barrantes, N., Chaverri, P., Hernández-Fonseca, J.C. and Escudero-Leyva, E. (2021). Fungi associated with common bean (*Phaseolus vulgaris*) wilt in Costa Rica. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(2), 289-301. DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2011-1>
- Guo, L., Yang, L., Liang, C., Wang, G., Dai, Q. & Huang, J. (2015). Differential colonization patterns of bananas (*Musa spp.*) by physiological race 1 and race 4 isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. *Journal Phytopathol.* 163,807-817. doi:10.1111/jph.12378
- Hazarika, D.J., Goswami, G., Gautam, T., Parveen, A., Das, P. and Barooah, M. (2019). Lipopeptide mediated biocontrol activity of endophytic *Bacillus subtilis* against fungal phytopathogens. *BMC Microbiology*, 19,71(2019). Doi: <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1440-8>
- Infante, R. (2011). *Incidencia y severidad de fitoenfermedades del haba (Vicia faba L.) en la provincia de Cajamarca* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1682>
- Khan, N., Martínez-Hidalgo, P., Ice, T. A., Maymon, M., Humm, E. A., Nejat, N., Sanders, E. R., Kaplan, D., & Hirsch, A. M. (2018). Antifungal Activity of Bacillus Species Against Fusarium and Analysis of the Potential Mechanisms Used in Biocontrol. *Frontiers in microbiology*, 9, 2363. Doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02363>

- Li, C., J. Yang, W. Li, J. Sun, and M. Peng. 2017. Direct root penetration and rhizome vascular colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* are the key steps in the successful infection of Brazil Cavendish. *Plant Dis.* 101, 2073-2078. doi:10.1094/PDIS-04-17-0467-RE.
- Leguízamo, M. C., Sánchez, M., Martínez, J., Vela, D., Clavijo, S. y García, A. (2014). Control de *Fusarium* spp. y *Bacillus subtilis* mediante metabolitos de *Xenorhabdus bovienii* mutualista de *Steinernema feltiae*. *Acta Agronómica*, 63(1), 1-10. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169930903008>.
- Martínez-Solórzano, G., Rey, J., Pargas-Pichardo, R. y Enrique, E. (2020). Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 259-276. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37925>
- Mejía, M., Reyes, A., Alejo, J., Tun, J., Borges, L. y Pacheco, J. (2016). *Bacillus* spp. en el Control de la Marchitez Causada por *Fusarium* spp. en *Capsicum chinense*. *Revista mexicana de fitopatología*, 34,208-222. Doi: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1603-1>
- Mendoza, D. y Pazmiño, J. (2021). *Microorganismos (hongos y bacterias “género Bacillus”) asociadas a la rizosfera del cacao en diferentes sistemas de producción en el cantón portoviejo* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/browse?type=author&value=Mendoza+Rodr%C3%A9guez%2C+Mar%C3%ADa+Daniela>
- Mori, B. (2017). *Comparativo de seis variedades de vainita (Phaseolus vulgaris L.) bajo condiciones de La Molina* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pepe/handle/UNALM/3063>
- Navarrete-Maya, R., Trejo-Albarrán, E., Navarrete-Maya, J., Prudencio, J. y Acosta, J. (2009). Reacción de genotipos de frijol a *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani* bajo condiciones de campo e invernadero. *Agricultura Técnica en México*, 35(4), 455-466. URL: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n4/v35n4a11.pdf>.

- Plasencia, E. (2019). *Perfil fungitóxico de bacterias obtenidas de la rizósfera del espárrago, pimiento y de humus de lombriz* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú. Disponible en: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5576>
- Reyes, M., Soto, J., Zúñiga, D., Cadenas, CA. (2019). Biocontrol del marchitamiento vascular del frijol, causado por *Fusarium oxysporum* empleando Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR). *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(1), 9-16. DOI: 10.26423/rctu.v6i1.445.
- Rojas, D., Contreras, M. y Santoyo, G. (2013). Mecanismos de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*. *Biológicas* 15(2), 36-41. Disponible en: <https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path%5B%5D=166&path%5B%5D=166>
- Tarabata, J. (2020). *Efecto de la aplicación de tres dosis de Bacillus subtilis en cuatro variedades de vainita (Phaseolus vulgaris L.) bajo invernadero* (tesis de pregrado). Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22003>
- Ttacca, B. L., & Mattos Calderon, L. L. (2021). Control de hongos fitopatógenos asociados a semillas de palto *Persea americana* Mill. (Lauraceae) *In Vitro*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2690-2701. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.483](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.483)
- Urviola, C. y Ordoñez, L. (2020). *Efectos de crecimiento hasta la etapa de boton floral de dos variedades de quinua (Chenopodium quinoa) utilizando bacterias biofertilizantes en parcelas experimentales del INIA* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú. Disponible en: <http://repositoio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13133>
- Wafaa, M.A., El-Nagdi, S. & Abd-El-Khair, H. (2014). Biological control of *Meloidogyne incognita* and *Fusarium solani* in dry common bean in the field. *Phytopathology and Plant Protection*, 47(4), 388-397. Doi: <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.809931>.

# **Anexos**

Tabla 42

*Datos de campo para los parámetros biométricos del cultivo de vainita*

Bloques	Tratamientos	Altura de planta	Número de vainas por planta	Largo de vaina	Diámetro de vaina	Nº de semillas por vaina
I	T1	27,7	9,4	13	0,9	6,4
	T1	31	4,6	13,6	0,86	6,3
	T1	28,3	6,1	13,8	0,78	6
	T1	23	5,3	13,6	0,82	6,4
II	T2	38,3	13,1	14,3	0,92	7
	T2	37	12,3	15	0,87	6,8
	T2	39,7	10,7	15,4	0,9	6,6
	T2	40,3	13,3	14,2	0,85	6,7
III	T3	42,3	12,5	14,6	0,93	7,3
	T3	42,1	16	16,9	0,93	6,9
	T3	42,2	15,3	17,8	0,95	6,7
	T3	40,7	14,7	17,9	0,95	6,6
IV	T4	43,3	16,3	19,2	0,95	8,5
	T4	44,3	18,3	19,1	1,23	7,1
	T4	45,1	18,3	18,2	0,97	7
	T4	48,8	15,7	18,4	0,96	6,9

Tabla 43

*Datos de campo para los parámetros para evaluar la enfermedad de Fusarium solani f.sp. phaseolus en el cultivo de vainita*

Bloques	Tratamientos	Pudrición radicular	Incidencia	Eficiencia de biocontrol
I	T1	7	100	0.0
	T1	7	90	0.0
	T1	9	100	0.0
	T1	7	100	0.0
	T2	7	80	0
II	T2	5	70	28,6
	T2	5	70	44,4
	T2	5	60	28,6
	T3	1	30	85,7
III	T3	3	40	57,1
	T3	3	30	66,7
	T3	3	30	57,1
	T4	1	10	85,7
IV	T4	1	0	85,7
	T4	1	0	88,9
	T4	1	0	85,7

## Imágenes del campo experimental



*Figura 4.* Preparación del campo experimental



*Figura 5.* Marcación del campo experimental



*Figura 6.* Aplicación de Teosim (*Bacillus subtilis*)



*Figura 7.* Siembra y crecimiento de la vainita variedad Jade



Figura 8. Crecimiento y desarrollo de la vainita variedad Jade



Figura 9. Evaluaciones de las variables en estudio para el tratamiento 1



Figura 10. Evaluaciones de las variables en estudio para el tratamiento 2



Figura 11. Evaluaciones de las variables en estudio para el tratamiento 3



Figura 12. Evaluaciones de las variables en estudio para el tratamiento 4