# UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

**Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente**

**Carrera de Agronomía**

**Tema:**

EFECTO DE LA INOCULACIÓN MULTIESPECIE CON *Bacillus* spp. Y *Paenibacillus polymyxa* FRENTE AL MANEJO RESTRICTIVO DE NUTRIENTES SOBRE LA SANIDAD Y RENDIMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.).

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agronomía.**

**Autor(a):**

Suleny Sofia Jaramillo Gavidia

**Tutor(a):**

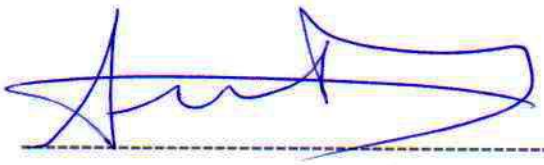
Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos

**Guaranda – Ecuador**

**2025**

EFECTO DE LA INOCULACIÓN MULTIESPECIE CON *Bacillus* spp. Y *Paenibacillus polymyxa* FRENTE AL MANEJO RESTRICTIVO DE NUTRIENTES SOBRE LA SANIDAD Y RENDIMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.).

**REVISADO Y APROBADO POR:**



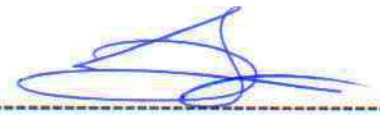
Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos

**TUTORA**



Ing. Monar Gavilánez Nelson Arturo

**DOCENTE LECTOR**



Ing. David Rodrigo Silva García Mg.

**DOCENTE LECTOR**

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Suleny Sofia Jaramillo Gavidia, con CI 1727970855, declaro que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

NOTARÍA TERCERA
Msc. Ab. Henry Rojas Narváez
GUARANDA - ECUADOR

---

**Suleny Sofia Jaramillo Gavidia**

**CI: 1727970855**

---

**Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos**

**CI: 0604084871**

ESPACIO EN BLANCO

....rio

**N° ESCRITURA 20250201003P00222**

**DECLARACION JURAMENTADA**

**OTORGADA POR:**

SULENY SOFIA JARAMILLO GAVIDIA

**INDETERMINADA**

**DI: 2 COPIAS L.L**

Factura: 001-001-000016958

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día treinta y uno de enero del dos mil veinticinco, ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda, comparece la señorita SULENY SOFIA JARAMILLO GAVIDIA soltera, con número de celular 0991766334, domiciliada en el Cantón Quito y de paso por esta ciudad de Guaranda, correo electrónico es sjaramillo@miles.ueb.edu.ec, por sus propios derechos, obligarse a quien de conocerla doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana; bien instruida por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertida de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presenta su declaración Bajo Juramento declaramos lo siguientes Previo a la obtención del Titulo de Ingeniera Agrónoma, de la carrera de Agronomía, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar, manifestó que los criterios e ideas emitidas en el presente estudio de caso titulado EFECTO DE LA INOCULACIÓN MULTIESPECIE CON *Bacillus* spp. Y *Paenibacillus polymyxa* FRENTE AL MANEJO RESTRICTIVO DE NUTRIENTES SOBRE LA SANIDAD Y RENDIMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.). es de mi exclusiva responsabilidad en calidad de autora. Es todo cuanto puedo declarar en honor a la verdad, la misma que la hago para los fines legales pertinentes. HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA. La misma que queda elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que le fue a la compareciente por mí el Notario en unidad de acto, aquella se ratifica y firma conmigo se incorpora al protocolo de esta Notaria la presente escritura, de todo lo cual doy fe.-

SULENY SOFIA JARAMILLO GAVIDIA
C.C. 1727970855

**ABOGADO HENRY ROJAS NARVAEZ**

**NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA**

# Suleny Sofia Jaramillo Gavidia

## TESIS Jaramillo Suleny correcciones 28-01-25.pdf

Universidad Estatal de Bolivar

### Detalles del documento

Identificador de la entrega
**trn:oid:::3117:425060917**

Fecha de entrega
**30 ene 2025, 3:56 p.m. GMT-5**

Fecha de descarga
**30 ene 2025, 4:03 p.m. GMT-5**

Nombre de archivo
**TESIS Jaramillo Suleny correcciones 28-01-25.pdf**

Tamaño de archivo
**2.6 MB**

**86 Páginas**

**17,761 Palabras**

**102,627 Caracteres**

Firma:

Revisado por: Dra. Andrea Román Ramos

Fecha: 30/01/25

# 2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- Trabajos entregados
- Fuentes de Internet
- Base de datos de Crossref

## Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
2% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

**N.° de alertas de integridad para revisión**

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Firma:

Revisado por: Dra. Andrea Román Ramos

Fecha: 30/01/25

## DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios, por haberme guiado y brindado fortaleza en cada etapa de mi vida. A mi familia, que son mis pilares incondicionales y mi causa de alegría, amor y motivación.

Dedicado a mi madre Moraima Edith Gavidia Palacios, por haberme impulsado cada día en mi formación académica. Agradezco profundamente su apoyo, al enseñarme a no rendirme, y ser un recordatorio constante que cada desafío debe afrontarse con valentía además de perseverancia. Que lo mejor de la vida son las oportunidades de aprender y que la educación es el mejor legado. Gracias por confiar en mí.

A mi padre, Ramiro Edmundo Jaramillo Almeida, por ser aquella persona soñadora y visionaria, el que me enseñó que cada sueño puede alcanzarse con esfuerzo y dedicación. Por recordarme que el verdadero éxito radica en disfrutar del proceso dando lo mejor de uno.

A Erika Nicole Jaramillo Gavidia, mi confidente, mi persona favorita “mi hermana”. Gracias por estar en mis momentos más difíciles, por ser mi voz de aliento, sostén y luz cuando más lo necesitaba. Por ser aquella fuente de optimismo y mi modelo de mujer altruista, fuerte e inteligente.

Finalmente, a Lucas Andino quien ha estado a mi lado en este camino, brindándome su amor, sus consejos, su confianza cómo también su apoyo incondicional. Llevo presente el valor de la responsabilidad, amabilidad y honestidad que ha inspirado en mí.

A todos ustedes, mi profundo agradecimiento por ser la base sobre la cual he construido este sueño hecho realidad.

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido a que este logro sea posible en mi vida.

En primer lugar, mi sincera gratitud a la Dra. Andrea Román, quien ha sido una guía constante a lo largo de este proceso. Su dedicación, experiencia y disposición de compartir sus conocimientos fueron fundamentales en la realización del trabajo. Su forma y su capacidad para aportar soluciones prácticas y efectivas han enriquecido enormemente la investigación.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento al Ing. Eduardo Rodríguez, por su valiosa contribución durante todo el proceso del proyecto UEB-FIASA. Su disposición para enseñar, su rigor técnico y su constante retroalimentación fueron clave para superar los retos y fortalecer cada etapa de esta investigación. Su compromiso y profesionalismo no solo impulsaron el desarrollo de este proyecto, sino que también dejaron un impacto significativo en mi crecimiento académico y profesional.

A los ingenieros Deysi Guanga, Nelson Monar y David Silva, mi más sincero agradecimiento por su apoyo como revisores del proyecto. Sus comentarios, aportes críticos y recomendaciones constructivas contribuyeron de manera notable al fortalecimiento y mejora de este trabajo.

Agradezco profundamente a todas las personas que contribuyeron de manera significativa el desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS


| CONTENIDO | Pag |
|---|---|
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 PROBLEMA | 3 |
| 1.3 OBJETIVOS | 4 |
| 1.3.1 Objetivo General | 4 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 1.4 HIPÓTESIS | 5 |
| CAPÍTULO II | 6 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 Origen e historia | 6 |
| 2.2 Clasificación taxonómica | 6 |
| 2.3 Valor nutricional | 7 |
| 2.4 Descripción botánica | 7 |
| 2.4.1 Raíz | 7 |
| 2.4.2 Tallo | 7 |
| 2.4.3 Hoja | 8 |
| 2.4.4 Inflorescencia | 8 |
| 2.4.5 Grano | 8 |
| 2.5 Etapas fenológicas del cultivo | 9 |
| 2.5.1 Periodo de crecimiento | 9 |
| 2.5.2 Macollaje y encañazón | 9 |
| 2.5.3 Espigazón y floración | 10 |

2.5.4 Maduración 10

2.6 Requerimientos edafoclimáticos 10

2.7 Clasificación del trigo 11

2.7.1 Trigo blando 11

2.7.2 Trigo duro 11

2.8 Requerimientos nutricionales del cultivo 11

2.8.1 Nitrógeno 11

2.8.2 Potasio. 12

2.8.3 Fósforo 12

2.9 Manejo agronómico del cultivo 14

2.9.1 Análisis del suelo 14

2.9.2 Encalado 14

2.9.3 Preparación del terreno 14

2.9.4 Siembra 15

2.9.5 Fertilización 15

2.9.6 Requerimiento de agua 15

2.9.7 Control de malezas 16

2.9.8 Desmezcla 16

2.9.9 Cosecha y almacenamiento 16

2.10 Plagas 17

2.10.1 Pulgón verde de los cereales (Schizaphis graminum) 17

2.10.2 Chinche (Dichelops sp.) 18

2.10.3 Gorgojo (Sitophilus granarius) 18

2.11 Enfermedades 19

2.11.1 Roya lineal o amarilla 19

2.11.2 Roya de la hoja 20

2.11.3 Fusarium de la espiga 21

2.11.4 Carbón de la espiga 22

2.11.5 Mancha amarilla 23

2.12 Microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV) 24

2.12.1 Beneficios de MPCV 25

2.13 Paenibacillus polymyxa 25

2.13.1 Taxonomía 25

2.13.2 Características 26

2.13.3 Antecedentes 26

2.14 Género Bacillus 26

2.14.1 Taxonomía 27

2.14.2 Características 27

2.14.3 Ciclo de vida 27

2.14.4 Formación de biopelículas 28

2.14.5 Colonización de raíces 28

2.14.6 Promotora de crecimiento vegetal 29

2.14.7 Antecedentes 29

2.15 Inoculación 29

2.15.1 Inoculación de semillas 30

2.15.2 Inoculación al suelo 30

CAPÍTULO III 31

3 MARCO METODOLÓGICO 31

3.1 Ubicación de la investigación 31

3.2 Metodología 32

3.2.1 Material en estudio 32

3.2.2 Factores en estudio 32

3.2.3 Tratamientos 32

3.2.4 Tipo de diseño experimental o estadístico 33

3.2.5 Manejo del experimento en campo 34

3.2.6 Métodos de evaluación (variables respuesta) 37

3.2.7 Análisis de datos 39

CAPÍTULO IV 40

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 40

4.1.1 Análisis de variables agronómicas 40

4.1.2 Análisis de variables sanitarias 43

4.1.3 Análisis de variables de rendimiento 47

4.1.4 Análisis económico 50

CAPÍTULO V 53

5.1 CONCLUSIONES 53

5.2 RECOMENDACIONES 54

BIBLIOGRAFÍA 55

ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS


| N° | Detalle | Pag |
|---|---|---|
| 1. | Resultados del análisis de varianza del porcentaje de emergencia (PE), número de macollos (NM), densidad radicular (DR), altura de planta (AP) | 40 |
| 2. | Resultados del análisis de varianza de Severidad de Manchas foliares (SEVMF), Severidad de roya de la hoja (SEVRo) y Severidad de Fusarium (SEVFu) | 43 |
| 3. | Resultados del análisis de varianza de Rendimiento (REN), Peso de mil granos (PM) y Peso hectolítrico (PH) | 47 |
| 4. | Presupuesto parcial para los tratamientos inoculados con Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes | 50 |
| 5. | Análisis de dominancia para los tratamientos con semilla inoculada de Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y niveles de fertilización | 51 |
| 6. | Tasa de retorno marginal de los tratamientos con semilla inoculada de Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y niveles de fertilización | 52 |

## ÍNDICE DE FIGURAS


| N° | Detalle | Pag |
|---|---|---|
| 1. | Medias para número de macollos (NM) de la combinación multiespecie Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes | 41 |
| 2. | Medias para altura de planta (AP) de la combinación multiespecie Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes | 42 |
| 3. | Medias para la severidad de manchas foliares (SEVMa) de la combinación multiespecie Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes | 44 |
| 4. | Medias para la Severidad de roya de la hoja (SEVRo) de la combinación multiespecie Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes | 45 |
| 5. | Medias para la Rendimiento (REN) de la combinación multiespecie Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes | 47 |
| 6. | Medias para el peso hectolítrico de la combinación multiespecie Bacillus spp. + Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes | 49 |

## ÍNDICE DE ANEXOS


| N° | Detalle |
|---|---|
| **1.** | Mapa de la ubicación |
| **2.** | Croquis del ensayo |
| **3.** | Análisis del suelo |
| **4.** | Base de datos |
| **5.** | Fotografías |
| **6.** | Glosario de términos técnicos |

## RESUMEN

El cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria mundial, no obstante, Ecuador enfrenta un limitado acceso a material vegetal con cierto nivel de tolerancia a enfermedades fúngicas y un manejo deficiente de la nutrición, lo que afecta su rendimiento. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la inoculación multiespecie con *Bacillus* spp. y *Paenibacillus polymyxa*, junto con diferentes niveles de fertilización, sobre la sanidad y el rendimiento del trigo en la provincia de Bolívar. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo bifactorial 2 × 5 y tres repeticiones. Los resultados mostraron mejor altura de planta (AP), número de macollos (NM) y rendimiento (REN) con la aplicación del 75 y 100% de fertilizante y la inoculación (T6 y T7). En términos de sanidad el adicionar el 100% de fertilizante redujo la severidad de manchas (SEVMa), no se observó efecto de la inoculación sobre esta variable. Sin embargo, se observó que la fertilización completa y sin inoculación favorece al desarrollo de la severidad de roya con un 59.08%. El análisis económico mostró que sin inoculación y sin fertilización (T5) fue el más rentable, pero la inoculación favorece a la reducción de enfermedad en etapas de desarrollo. La combinación multiespecie analizada en esta investigación mostró que con un manejo adecuado de nutrientes puede ser una estrategia prometedora para mejorar el rendimiento del trigo, además del costo variable asociado a los tratamientos.



**Palabras claves:** inoculantes, fertilización, sanidad, rendimiento

## SUMMARY

Wheat crop (*Triticum aestivum* L.) plays a crucial role in global food security. However, Ecuador faces limited access to plant material with some level of tolerance to fungal diseases and poor nutrient management, which affects its yield. The objective of this research was to evaluate the effect of multi-species inoculation with *Bacillus* spp. and *Paenibacillus polymyxa*, along with different levels of fertilization, on wheat health and yield in the Bolívar province. A randomized complete block design (RCBD) with a 2 × 5 factorial arrangement and three replicates was used. The results showed better plant height (PH), tiller number (TN), and yield (YLD) with the application of 100% fertilizer combined with inoculation (T6 y T7). In terms of plant health, adding 75 and 100% fertilizer reduced the severity of leaf spot (LS), although no effect of inoculation was observed on this variable. However, full fertilization without inoculation promoted rust severity, reaching 59.08%. The economic analysis indicated that the treatment without inoculation and without fertilization (T5) was the most profitable, but inoculation contributed to disease reduction during developmental stages. The multi-species combination analyzed in this study demonstrated that, with proper nutrient management, it could be a promising strategy to improve wheat yield while considering the variable costs associated with the treatments.



**Keywords:** inoculants, fertilization, sanitation, yield

# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales mayormente cultivados, distribuido en todo el mundo, tanto la planta como el grano son productos muy versátiles. Debido al alto contenido de almidón que posee el grano de trigo, se considera una gran fuente de energía, por lo que se emplea en la nutrición humana y ganadera (Golik, 2022).

Este cultivo posee un alto rango de adaptación, de modo que la producción mundial de trigo es alrededor de 567 millones de toneladas, siendo los principales productores: China 17.30%, EE.UU. 11.50%, India 9.40%, Rusia 7.9%, Canadá 20.10%, Francia 16.30%, Australia 9.90% y Argentina 5.50% (Basantes, 2015). El consumo de trigo en Ecuador supera las 450 mil toneladas al año, lo que lleva al país a importar el 98% de sus necesidades internas de trigo (Banco Central del Ecuador, 2007). De acuerdo a la Corporación Financiera Nacional, (2022) en el año 2021, la superficie cosechada de trigo en Ecuador fue de 6038 ha, abarcando una producción total de 10898 tm. La provincia de Carchi abarcó el 55% de la producción nacional de este sector, seguido de Bolívar (18%) y Pichincha (17%). No obstante, conforme a cifras del ESPAC, en 2023 la superficie total cultivada de trigo fue de 4271 ha, y la superficie cosechada fue de 4035 ha con una producción de 3976 tm. En cuanto a la provincia de Bolívar, está cosechó 372 ha con una producción de 337 tm (INEC, 2023).

Los rendimientos en trigo en las últimas décadas se han visto expuestos al ataque de malezas, plagas y enfermedades que con el transcurso de los años es más difícil su control. Bajo este contexto, la agricultura ecológica en relación al manejo integral de plagas y enfermedades incentiva el empleo de productos de origen natural, siendo una alternativa la aplicación de un biocontrol con bacterias como *Bacillus* spp., que ha demostrado ser altamente efectivo en una variedad de cultivos debido a su capacidad para producir endosporas que son resistentes al calor y la desecación (Hallman, 2001).

No obstante, *Bacillus subtilis* ha demostrado capacidad de producir metabolitos como citoquininas, sideróforos, auxinas, antibióticos, entre otros que promueven el crecimiento vegetal. Además, influye en el ácido 3-indólico acético (IAA), que es una de las auxinas más importantes, controla el proceso como la división celular (Flores et al., 2020).

El nitrógeno (N), debido a su baja disponibilidad en los ecosistemas terrestres, es el nutriente que más directamente influye en la producción vegetal y en el contenido de proteína de los cultivos de grano. Para satisfacer la creciente demanda de alimentos, las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados son un factor crucial. La síntesis de fertilizantes minerales nitrogenados requiere grandes cantidades de energía, y en ocasiones sus aplicaciones no se hacen en dosis o momentos correctos provocando pérdidas de N en el medio ambiente (Aranguren, 2020).

*Paenibacillus polymyxa* es una bacteria que ha presentado capacidad de fijar nitrógeno y producir sustancias antimicrobianas (Wang et al., 2013; Xie et al., 2016). La incorporación de *P. polymyxa* al suelo puede incrementar la población de bacterias y suprimir a hongos como *Rhizoctonia* sp. (Gómez et al., 2007). Es por este motivo que existe un fuerte mercado en crecimiento de inoculantes microbianos en todo el mundo debido a que la mayoría de los biofertilizantes microbianos han presentado buenos resultados para la nutrición de cultivos a nivel de invernadero y campo.

## 1.2 PROBLEMA

El cultivo de trigo en el Ecuador presenta un limitado acceso a material vegetal con cierto nivel de tolerancia a enfermedades fúngicas, un manejo inadecuado en la nutrición mineral, que no suple los requerimientos necesarios de macronutrientes del cultivo de trigo. A pesar de los avances tecnológicos desarrollados para abordar estos problemas, la adopción de estas alternativas sigue siendo baja. Esto se traduce en una alta incidencia y severidad de enfermedades, un crecimiento insuficiente de las plantas, y la falta de expresión de las características deseables del trigo; y la aplicación de fertilizantes químicos no alcanzan los niveles esperados. Además, el agricultor realiza un gasto significativo en pesticidas, fungicidas o herbicidas, los mismos que son causantes de la degradación de los recursos de la producción, muchas veces afectando la calidad de los productos y la contaminación ambiental.

El escaso uso de alternativas de biocontrol, sumado a esto la pérdida de la diversidad microbiológica, ha obligado a buscar alternativas, como la utilización de inoculantes microbianos en todo el mundo. Sin embargo, existe una limitada adopción de medidas de manejo que promuevan su uso para mejorar la resistencia de las plantas, a su vez, un desconocimiento generalizado sobre los beneficios y el aprovechamiento del potencial de los inoculantes microbianos por parte de los agricultores para aumentar y mejorar los rendimientos de los cultivos.

Dentro de la presente problemática, la práctica de inoculación de microorganismos en semillas puede ser una buena opción para mejorar la producción de trigo en la provincia de Bolívar, esto a través del aprovechamiento de las actividades microbianas, ya que estimulan el crecimiento, mejoran la absorción de nutrientes o como antagonistas de patógenos, son una alternativa para su aplicación a bajo costo.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de la inoculación multiespecie con *Bacillus* spp. y *Paenibacillus polymyxa* frente al manejo restrictivo de nutrientes sobre la sanidad y rendimiento en trigo.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la capacidad de los inoculantes multiespecie para colonizar el sistema radicular de trigo harinero.
- Comparar el efecto del uso de inoculación multiespecie frente a la restricción de nutrientes sobre la severidad de enfermedades fúngicas de trigo harinero.
- Estimar el retorno económico de las inversiones en los tratamientos en estudio a partir de un análisis de dominancia.

## 1.4 HIPÓTESIS

**H0:** La inoculación multiespecie con *Bacillus* spp. y *Paenibacillus polymyxa***,** y la restricción de nutrientes no incide positivamente sobre el estado sanitario y el rendimiento.

**HA:** La inoculación multiespecie con *Bacillus* spp. y *Paenibacillus polymyxa*, y la restricción de nutrientes incide positivamente sobre el estado sanitario y el rendimiento.

# CAPÍTULO II

# 2. MARCO TEÓRICO

## 2.1 Origen e historia

La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *triticum*, que significa ‘quebrado’, ‘triturado’ o ‘trillado’, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre (Gómez et al., 2007). Los restos arqueológicos hallados en el norte de Siria indican la presencia de granos y espiguillas de las especies silvestres *T. monococcum* ssp. *boeticum, T. araraticum* y *T. turgidum* ssp. *dicoccoides* y de las especies cultivadas de ellas derivadas. Se estima que hace 7000 años aC *T. monococcum* y principalmente, *T. turgidum* ssp**.** *dicoccum* estaban totalmente difundidos en las áreas agrícolas del Cercano Oriente y de allí, entre 6000 y 4000 años aC, se extendieron a Egipto, Etiopía, India y Europa Central (Golik, 2022).

## 2.2 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Tribu: Triticeae

Género: *Triticum*

Especie: *aestivum*

**Fuente:** (Bánki et al., 2024).

## 2.3 Valor nutricional

El trigo presenta un índice glucémico moderado de aproximadamente 50. Proporciona alrededor de 326 calorías por cada 100 gramos y contiene principalmente un 70% de carbohidratos. Es bajo en grasas, con un contenido del 2,47%, siendo la mayoría de estas grasas insaturadas debido a su origen vegetal. En cuanto a minerales, es especialmente abundante en potasio, y también contiene cantidades significativas de magnesio y calcio, entre otros. Además, es una buena fuente de vitaminas B1 y B6, entre otras (Uranda, 2019).

## 2.4 Descripción botánica

### 2.4.1 Raíz

El sistema radicular suele alcanzar más de un metro de profundidad, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm del suelo. El crecimiento de las raíces comienza en el periodo de ahijado, estando todas ellas poco ramificadas. El desarrollo de las raíces se considera completo al final del encañado. En condiciones de secano la densidad de las raíces entre los 30-60 cm de profundidad es mayor (CONAHCYT, 2023).

### 2.4.2 Tallo

Los tallos en trigo son erectos, cilíndricos, generalmente lisos y están contraídos en los nudos que son sólidos y los entrenudos huecos. Generalmente los tallos maduros en trigo tienen 6 nudos, en la parte superior del tallo, en el último nudo es donde se desarrolla la espiga, y en cada uno de los nudos del tallo brota una hoja. La altura puede variar de 0.6 m a 1.5m. Las vainas que cubren estrechamente el tallo le dan el soporte mecánico, especialmente en estados inmaduros (Basantes, 2015; Pistoni, 2021).

### 2.4.3 Hoja

Cada hoja se compone de vaina, lámina, lígula y aurícula. La vaina envuelve el tallo, la lámina es lineal o lineal lanceolada y tiene nervaduras paralelas; el ápice de la primera hoja es firme y sin punta, mientras que las hojas siguientes son acuminadas. Las aurículas, se encuentran en la base de la lámina, donde abrazan ligeramente la vaina y el tallo en lados opuestos. Son generalmente de color verde claro o rosado. En plantas jóvenes, las aurículas son pubescentes, mientras que, en la madurez el ápice y los márgenes se desflecan con algunos pelos largos. La lígula es una estructura delgada y membranosa que rodea herméticamente el tallo. Es incolora, con el borde superior irregular y desflecado con pequeños pelos (Pistoni, 2021).

### 2.4.4 Inflorescencia

Espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla con nueve flores, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados (CONAHCYT, 2023).

### 2.4.5 Grano

Los granos son cariópsides de forma ovalada con extremidades redondeadas. Uno de los extremos muestra una prominencia que corresponde al germen, mientras que en el otro extremo se encuentran delicados filamentos agrupados. Compuesto por un endospermo, que es una reserva de nutrientes esencial para el embrión, constituyendo aproximadamente el 82 % del peso total del grano. A lo largo de la superficie inferior del grano, existe una hendidura, una concavidad que implica la involucración de la aleurona y todas las cubiertas. En el fondo de esta hendidura, se ubica una región vascular intensamente pigmentada. El pericarpio, la testa y la capa de aleurona, en conjunto, componen lo que se conoce como salvado de trigo (Manrique & Vera, 2022).

## 2.5 Etapas fenológicas del cultivo

La escala de Zadoks es ampliamente utilizada para describir los estados morfológicos externos del trigo. Esta escala divide el ciclo del cultivo en 10 estados principales (0, 1, 2…, 9) y dentro de estos, en 10 estados secundarios (0, 1, 2…, 9). Tradicionalmente, cada estado individual de la escala se denota con el prefijo DC (código decimal), seguido por un número de dos dígitos que combina el estado principal y el secundario (DC55) representa el estado principal 50 (espigazón) y el estado secundario 5 (50% de la inflorescencia emergida). Sin embargo, actualmente se ha aceptado el uso del prefijo Z (Abbate & Divito, 2017).

En la mayoría de los cultivos la fenología divide el crecimiento de la planta en dos grandes estados:

- Estado vegetativo, desde la emergencia hasta la floración.
- Estado reproductivo, que va desde la floración hasta la madurez de la planta.

### 2.5.1 Periodo de crecimiento

El ciclo del cultivo comienza durante la germinación, se emite la radícula, ayudando al embrión en la fijación y absorción de compuestos para su desarrollo hasta la emisión y emergencia del coleóptilo. A partir de esta etapa, la plántula ya es visible sobre el nivel del suelo El crecimiento se caracteriza por la primera emisión de hojas verdaderas a través del coleóptilo. Cuando se abre una hoja verdadera anterior, aparece otra a través del epicótilo, que también se abrirá posteriormente. Este proceso continúa hasta el macollaje, que inicia a partir de la cuarta o quinta hoja (Rissi, 2022).

### 2.5.2 Macollaje y encañazón

Aparece el primer macollo en la planta ubicado en la axila de una de sus hojas más bajas. Luego del estadio de macollaje, la planta de trigo entra en un período de muy rápido crecimiento, denominado encañazón. Momento en que aparece el primer nudo en el tallo principal de la planta. Por lo general el primer nudo se localiza a una distancia de 2 a 3 cm sobre el suelo (Yzarra & López, 2017).

### 2.5.3 Espigazón y floración

La floración comienza de 2 a 4 días después de la espigazón. Este proceso se inicia en la espiga del tallo principal y luego sigue con las espigas de los macollos. Dentro de la espiga, la floración empieza en las espiguillas situadas en el tercio inferior de la espiga y progresa tanto hacia la base como hacia el ápice. Completar la floración toma generalmente de 3 a 5 días. Dentro de cada espiguilla, la flor basal es la primera en abrirse, seguida por las demás. Esta especie es autógama (Pistoni, 2021).

### 2.5.4 Maduración

La última fase observada en el cultivo es la maduración, que precede a los ciclos finales del metabolismo de la planta y cosecha. El llenado de grano se caracteriza por 3 fases, siendo la primera el estado de grano lechoso, con cariopsis acuosa y gran cantidad de agua en el interior del grano. El grano pastoso, inicialmente masa blanda y posteriormente masa dura, con madurez fisiológica y menor humedad en el interior del grano. Finalmente, la etapa de granos maduros con cariopsis dura, listos para la cosecha, la planta entra en senescencia y secado de las hojas y espigas, finalizando el ciclo del cuerpo vegetal en los cultivos de trigo en la etapa (Rissi, 2022).

## 2.6 Requerimientos edafoclimáticos

| | |
|---|---|
| **Altitud** | 2200 a 3000 msnm |
| **Precipitación** | 750 mm y 900 mm. |
| **Temperatura** | 15 y 23°C son las temperaturas ideales para un crecimiento vegetativo óptimo. |
| **Suelos** | Franco arenoso a franco arcillosos limosos, medianamente profundo |
| **pH** | 5.5 a 7.05 |

**Fuente:** (CIREN, 2021)

## 2.7 Clasificación del trigo

### 2.7.1 Trigo blando

El trigo blando se cultiva en regiones con climas templados, ya que requiere estas condiciones para su crecimiento. Sus granos son redondeados, opacos, suaves y fáciles de desmenuzar. De la molturación de este trigo se obtiene una harina de dureza media-baja. En comparación con el trigo duro, el trigo blando tiene menos proteína y una menor capacidad de absorción de agua. De este grano se producen harinas blancas de tipos 00, 0, 1, 2, así como harina integral. Las harinas de trigo blando son ideales para la elaboración de pan, pizza, postres y productos fermentados (Espada, 2022).

### 2.7.2 Trigo duro

El trigo duro, tiene granos alargados y de textura dura. Al molerlo, se obtiene una harina gruesa rica en carotenoides, que son antioxidantes naturales. De la molienda del trigo duro se obtienen sémola, sémola granulada, sémola integral y harina de trigo duro. Estas harinas son fuertes y adecuadas para la elaboración de pasta seca (Espada, 2022).

## 2.8 Requerimientos nutricionales del cultivo

La eficiencia en el uso de nutrientes es crucial para aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos, al mismo tiempo que se reducen los insumos de fertilizantes y se minimiza el daño ambiental (Rawal et al., 2022).

### 2.8.1 Nitrógeno

El nitrógeno (N) es el nutriente más limitante en la producción agrícola y es al que los cultivos responden más en rendimiento y calidad. Desempeña un papel crucial en el metabolismo, crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando la producción final y la calidad del grano en cereales, especialmente en el contenido de proteína (Val et al., 2022).

De la misma forma, es esencial para la síntesis de clorofila y el proceso de fotosíntesis. Su carencia impide que la planta utilice la luz solar como energía, afectando funciones esenciales como la absorción de nutrientes (Cinalli, 2024).

### 2.8.2 Potasio.

El potasio es un nutriente esencial para las plantas y contribuye a la tolerancia al estrés térmico al mantener la fotosíntesis, facilitar la translocación de carbohidratos solubles en agua y estimular el sistema de defensa de las plantas (Hasanuzzaman et al., 2018).

La aplicación exógena de potasio (K) en plantas de trigo sometidas a estrés térmico puede proporcionar un aumento del 12% en el número de granos por espiga y un incremento del 19% en el peso de 1000 granos. Además, de una reducción del 27% en la senescencia de la hoja bandera, destacando la eficacia del potasio en mejorar la resistencia al estrés térmico, optimizar la productividad y la calidad del grano, así como prolongar la funcionalidad de las hojas esenciales para la fotosíntesis (Sarwar et al., 2022).

### 2.8.3 Fósforo

El P participa en varios procesos fisiológicos y metabólicos, incluida la formación de compuestos estructurales, la transferencia de energía, la división y elongación celular, la asimilación de carbono y el metabolismo del nitrógeno (Malhotra et al., 2018). El uso de fertilizantes fosfatados en diferentes formulaciones afecta significativamente la morfología y la biomasa de las raíces. La aplicación de polifosfatos afecta positivamente los rasgos fisiológicos del trigo directamente relacionados con el rendimiento e influye significativamente en la microbiota bacteriana y fúngica en la rizosfera y el rizoplano en diferentes etapas de crecimiento (Bourak et al., 2023).

Requerimientos de N, P y K de un cultivo de trigo de 5000 kg $ha^{-1}$ de rendimiento

| **Nutriente** | **Requerimiento kg $tn^{-1}$ grano** | **Índice de cosecha %** | **Rendimiento de 5000 kg $ha^{-1}$** | |
|---|---|---|---|---|
| | | | **Necesidad kg $ha^{-1}$** | **Extracción kg $ha^{-1}$** |
| Nitrógeno (N) | 30 | 0.66 | 150 | 99 |
| Fósforo (P) | 5 | 0.75 | 25 | 19 |
| Potasio (K) | 19 | 0.17 | 95 | 16 |

**Fuente:** (IPNI, 2002)

La aplicación de una mayor dosis de fertilizantes inorgánicos de P y K mejora la eficiencia de N del trigo, y lo mismo ocurre con las eficiencias de P y K. El trigo muestra una respuesta superior ante la aplicación de fertilizantes de N y K, mientras que una menor aplicación de P disminuye la eficiencia de los fertilizantes de N y K (Rawal et al., 2022).

Requerimientos micronutrientes de un cultivo de trigo de 5000 kg $ha^{-1}$de rendimiento

| **Nutriente** | **Requerimiento kg $tn^{-1}$ grano** | **Índice de cosecha** | **Rendimiento de 5000 kg $ha^{-1}$** | |
|---|---|---|---|---|
| | | | **Necesidad kg $ha^{-1}$** | **Extracción kg $ha^{-1}$** |
| Calcio (Ca) | 3 | 0.14 | 15 | 2 |
| Magnesio (Mg) | 3 | 0.50 | 15 | 8 |
| Azufre (S) | 4.5 | 0.25 | 23 | 6 |
| Boro (B) | 0.025 | | 0.125 | |
| Cobre (Cu) | 0.010 | 0.75 | 0.050 | 0.038 |
| Hierro (Fe) | 0.137 | | 0.685 | |
| Manganeso (Mn) | 0.070 | 0.36 | 0.350 | 0.126 |
| Zinc (Zn) | 0.052 | 0.44 | 0.260 | 0.114 |

**Fuente:** (IPNI, 2002)

## 2.9 Manejo agronómico del cultivo

### 2.9.1 Análisis del suelo

Un análisis del suelo es indispensable para determinar las características físicas (textura) y químicas (pH, CIC) del suelo, para a partir de allí diseñar las diferentes labores del cultivo acorde a estas propiedades tales como encalado, riego, fertilización, etc. Se debe repetir el análisis de suelo por lo menos una vez al año para conocer la evolución del suelo con las labores que se han realizado en el mismo (Rikolto, 2019).

### 2.9.2 Encalado

Consiste en la aplicación de diferentes formas de minerales ricos en calcio y magnesio en suelos altamente ácidos o aquellos en los que se instalarán cultivos sensibles a la acidez. Para corregir la acidez se suele utilizar la cal agrícola o calcita, es el encalante más usado y contiene principalmente carbonato de calcio ($CaCO_3$). Se obtiene a partir de roca caliza y roca calcárea que se muele y se cierne. Normalmente, el contenido de impurezas es alto y, en general, el contenido de calcio de la calcita pura es de 40 % (Arévalo et al., 2024).

### 2.9.3 Preparación del terreno

El suelo se prepara antes de la siembra, a través de una labranza a una profundidad aproximada de 15 cm ayudará que la tierra este bien mullido, sin presencia de terrones ni restos vegetales ya que esto impide una buena germinación y emergencia de la semilla. Además, se puede incorporar materia orgánica como compost con la finalidad de añadir nutrientes y mejorar el crecimiento del cultivo (Cherlinka, 2023).

### 2.9.4 Siembra

Los métodos de siembra más empleados son: manual o al voleo y mecanizada (sembradora o voleadora). Debemos procurar que el suelo este húmedo y que la semilla no quede muy profunda o muy superficial para tener una buena germinación, la profundidad de siembra no debe ser superior a 5 cm (Ponce et al., 2023).

### 2.9.5 Fertilización

- **Fertilización inicial**

Esta actividad se realiza al momento de la siembra, para ello es necesario realizar un análisis químico de suelo. Para obtener un promedio de rendimiento de grano de 4 t $ha^{-1}$, se recomienda aplicar 80 kg de nitrógeno (N), 60 kg de fósforo ($P_2O_5$), 40 kg de potasio ($K_2O$) y 20 kg de azufre (S), más microelementos (calcio, magnesio, boro y zinc). A la siembra se debe aplicar el 20% del nitrógeno más el 100% de fósforo, potasio, azufre y microelementos. Para alcanzar este requerimiento de nutrientes para el cultivo se puede usar fertilizantes compuestos como el 18-46-0 + sulpomag, 10-30-10, 15-30-15 o 15-30-15 (Ponce et al., 2023).

- **Fertilización complementaria**

Para que haya un mejor aprovechamiento del nitrógeno por parte del cultivo, se recomienda fraccionar al menos en dos partes y aplicarlos de la siguiente manera: 75 kg cuando el cultivo está en macollamiento y 75 kg cuando ha emergido completamente la hoja bandera (Ponce et al., 2023).

### 2.9.6 Requerimiento de agua

El riego temprano contribuye a una emergencia más rápida y uniforme del cultivo, el trigo necesita la mayor cantidad de agua durante la fase de floración, con una media de 0,5 cm al día. El suelo debe mantenerse lo bastante húmedo antes de que comience la floración para que el cultivo pueda prosperar durante la fase de floración y el inicio de la fase de grano (Cherlinka, 2023).

### 2.9.7 Control de malezas

Se realiza entre los 50 y 60 días posteriores a la siembra, momento en el cual las arvenses pueden ser claramente identificadas y retiradas del cultivo sin dificultad. Los beneficios del control incluyen un aumento en la calidad y rendimiento del grano, así como una disminución en el ataque de plagas y enfermedades. Por el contrario, no controlar estas plantas indeseadas puede resultar en una reducción de la producción de grano entre un 25% y un 50%, además de una calidad inferior del grano y un rendimiento bajo. En el control químico, cuando hay demasiadas malezas, especialmente de hoja ancha, se recomienda emplear un herbicida específico, metsulfuron-metil, en una dosis de 30 g $ha^{-1}$ en 400 litros de agua (Guzmán et al., 2015; Ponce et al., 2023).

### 2.9.8 Desmezcla

Consiste en eliminar las plantas extrañas o variedades diferentes a la que se sembró.

### 2.9.9 Cosecha y almacenamiento

Cuando ya no queda ni rastro del color verde en el cultivo y éste ha adquirido un color amarillo dorado, se sabe que está listo para la cosecha. La cosecha del trigo debe realizarse cuando los granos se han secado, aproximadamente con un contenido de humedad del 12,5%. Si se teme por la calidad debido a la lluvia o mal clima, puede ser útil esperar a un contenido de humedad algo mayor, por ejemplo, alrededor del 18%. Después de la cosecha, es crucial secar el grano hasta que su contenido de humedad sea inferior al 12% para evitar problemas como la formación de hongos y micotoxinas durante el almacenamiento (Cherlinka, 2023).

## 2.10 Plagas

### 2.10.1 Pulgón verde de los cereales (*Schizaphis graminum*)

- **Ciclo de vida**

Esta especie puede reproducirse de manera monoica holocíclica en gramíneas, pero también puede mantenerse anholocíclica. En el ciclo anholocíclico, se reproduce por partenogénesis sin apareamiento, con ninfas que emergen directamente de la hembra. Los pulgones verdes pasan por tres estadios antes de llegar a la etapa adulta, un período larvario de 8 a 15 días. La esperanza de vida de la hembra áptera partenogenética es de aproximadamente 35 días, mientras que la hembra alada vive de 17 a 20 días. En la reproducción holocíclica, las hembras producen huevos ovalados y negros, colocados en grupos de 2 a 4 en las vainas de las hojas. Aunque se han observado huevos en invernaderos, no se han encontrado en condiciones de campo (DGSV-CNRF, 2020).

- **Daños**

Son insectos succionadores de cuerpo blando, casi transparente. Cuando existen en cantidades abundantes, pueden causar amarillamiento y muerte prematura de las hojas. Exudan gotitas de un líquido azucarado llamado “rocío de miel” que puede causar diminutas manchas chamuscadas en las hojas y favorece el desarrollo de mohos negros (Ponce et al., 2023).

- **Manejo de la plaga**

En el manejo del control cultural, es crucial ser precavido con la dosis de nitrógeno aplicada al cultivo, dado que los pulgones muestran una respuesta positiva ante su incremento. En lo referente al control biológico, este se centra en la preservación de enemigos naturales, destacando los insectos de la familia de los Coccinellidae. Por otro lado, dentro del control químico se incluye el uso de insecticidas como el malatión, dimetoato, imidacloprid, pimetrozina y dinotefuran (DGSV-CNRF, 2020).

### 2.10.2 Chinche (*Dichelops* sp.)

- **Ciclo de vida**

Suelen hibernar bajo las hojas muertas y la hierba. Se aparean y ponen huevos en diversos sitios de la planta. Completa su ciclo en 2 meses y los adultos pueden vivir hasta 6 meses, tienen cinco estadios ninfales y puede desarrollar dos generaciones por año (Simón et al., 2018).

- **Daños**

Puede ocasionar daños en el inicio del cultivo, succiona plántulas y esto causa necrosis del tejido, perforaciones en la parte atacada, ocasionando debilidad y rotura del tallo. Atacan granos lechosos que quedan con menor peso (Candia, 2020).

- **Manejo de la plaga**

Para el manejo de *Dichelops* sp., se puede emplear insecticidas sistémicos como el thiametoxan e imidacloprid, así como combinaciones de insecticidas como thiametoxan + bifentrin, thiametoxan + lambdacialotrina, e imidacloprid + lambdacialotrina. Estas opciones ofrecen una estrategia eficaz para el control de esta plaga, proporcionando un manejo tanto preventivo como curativo (Candia, 2020).

### 2.10.3 Gorgojo (*Sitophilus granarius*)

- **Ciclo de vida**

Las hembras depositan los huevos en el interior del grano de los cereales, en una cámara previamente elaborada con la boca. Las larvas completan su desarrollo dentro del grano por lo cual el ataque pasa desapercibido, hasta que los adultos lo abandonan. Son insectos de tamaño pequeño (2.5 a 3.5 mm), de colores que varían entre el café al negro, provistos de un aparato bucal como una trompa (rostrum), en cuyo extremo se encuentran las partes bucales, con mandíbulas trituradoras (Vallejos & Céspedes, 2020).

- **Daño**

Los adultos son capaces de dañar tanto granos en almacenamiento como antes de ser cosechados, sus larvas se alimentan en el interior de los granos. Al emerger el adulto deja un orificio en el grano dañado. Las larvas durante su desarrollo pueden destruir entre el 50 y 70% del endosperma. El daño merma su valor comercial por el mal olor y el mal estado (Vallejos & Céspedes, 2020).

- **Manejo de la plaga**

Hasta ahora, el control de insectos en productos almacenados, como *Sitophilus granarius*, ha dependido principalmente del uso de insecticidas químicos y fumigantes, como organofosforados, piretroides, neonicotinoides y fosfina (Agrafioti & Athanassiou, 2018; Tsaganou et al., 2021).

## 2.11 Enfermedades

Las enfermedades más importantes para el cultivo de trigo, son: la roya amarilla (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja o parda (*Puccinia triticina*), fusariosis de la espiga (*Fusarium* spp.) y el carbón de la espiga (*Ustilago tritici*) (Ponce et al., 2023).

### 2.11.1 Roya lineal o amarilla

Taxonomía

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Puccinia*

Especie: *striiformis* (Bánki et al., 2024).

- **Síntomas**

El síntoma de la roya amarilla se manifiesta con la aparición de pústulas de entre 0,5 y 1 mm de longitud. Estas pústulas suelen alinearse a lo largo de la nervadura de la hoja, formando lesiones alargadas o estrías. Las pústulas (uredosoros) rompen la cutícula de la hoja para liberar las esporas (urediniósporas o uredósporas), que son de color amarillo o anaranjado, dando al patógeno su aspecto característico (Aguaysol et al., 2019).

- **Condiciones predisponentes**

La infección ocurre en cualquier momento del estado fenológico del cultivo, los factores ambientales para su desarrollo son una alta humedad relativa con presencia de agua libre y temperaturas óptimas de 7 a 15ºC (Aguaysol et al., 2019).

- **Manejo de la enfermedad**

Identificar rápidamente manchas amarillentas sirve como señal para programar la aplicación de fungicidas. Un control químico puede ser la combinación de estrobilurina y triazol, aplicados según la dosis comercial recomendada (Aguaysol et al., 2019).

### 2.11.2 Roya de la hoja

Taxonomía

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Puccinia*

Especie: *triticina*, *recondita* (Bánki et al., 2024).

- **Síntomas**

Se presenta como pequeñas pústulas ovales de color anaranjado a rojo, distribuidas de manera irregular sobre el haz de la hoja y en cuyo interior se concentran las masas de uredosporas. Las pústulas aumentarán su tamaño, dependiendo del nivel de susceptibilidad del tejido. No afecta tallos ni espigas, rara vez se detecta en glumas y aristas (Madariaga & Vera, 2017a).

- **Condiciones predisponentes**

Las condiciones que favorecen su desarrollo son temperaturas entre 15-25°C. El hongo requiere un mínimo de 3 horas de follaje mojado, con temperaturas sobre 20°C, para infectar (Madariaga & Vera, 2017a).

- **Manejo de la enfermedad**

La forma más económica de control es el uso de variedades mejoradas resistentes. Caso contrario se puede realizar aplicaciones foliares con propiconazole (2.5 cc $L^{-1}$), tebuconazole (2.5 cc $L^{-1}$), azoxystrobin (0.3 g $L^{-1}$) y oxicarboxín (3.75 g $L^{-1}$) (Ponce et al., 2023).

### 2.11.3 Fusarium de la espiga

Taxonomía

Reino: Fungi

Filo: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *graminearum* (Bánki et al., 2024).

- **Síntomas**

Se caracteriza por provocar que las espigas se tornen de color amarillo (como si hubiese madurado) posteriormente se observa masas de conidias de color amarillo, rosado o violeta oscuro a lo largo de las glumas (Ponce et al., 2023).

- **Condiciones predisponentes**

Las condiciones que favorecen su desarrollo son temperatura de 25 a 28 °C y una humedad relativa superior a 80 % (Ponce et al., 2023).

- **Manejo de la enfermedad**

Un estudio mostro que ciertos fungicidas como los triazoles, aplicados desde la etapa del descabezado hasta la mitad de la antesis, reduce la fusariosis en trigo. Fungicidas para el manejo son tebuconazol, metconazol y epoxiconazol son efectivos (Scholz et al., 2021).

### 2.11.4 Carbón de la espiga

Taxonomía

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Ustilaginomycetes

Orden: Ustilaginales

Familia: Ustilaginaceae

Género: *Ustilago*

Especie: (Bánki et al., 2024).

- **Síntomas**

Durante la etapa de espigamiento del cultivo, las plantas infectadas presentan un desarrollo adelantado de las espigas, las cuales son de menor tamaño y están cubiertas de esporas de carbón. Al momento de la cosecha, únicamente quedarán los raquis erectos y desnudos (Chimento, 2020).

- **Condiciones predisponentes**

Las condiciones que favorecen su desarrollo son temperatura de 15 a 20 °C y una humedad relativa superior a 80 % (Ponce et al., 2023).

- **Manejo de la enfermedad**

Para el control de esta enfermedad es mediante el uso de semilla de calidad registrada o certificada. Caso contrario se puede realizar la desinfección de la semilla a utilizar con captan + carboxin (3 g $kg^{-1}$ de semilla) o fludioxil (2 cc $kg^{-1}$ de semilla) (Ponce et al., 2023).

### 2.11.5 Mancha amarilla

Taxonomía

Reino: Fungi

Filo: Ascomycota

Clase: Dothideomycetes

Orden: Pleosporales

Familia: Pleosporaceae

Género: *Pyrenophora*

Especie: *tritici* (Román et al., 2023).

- **Síntomas**

La infección se inicia en las hojas inferiores, pudiendo llegar hasta hoja. Desde que macolla en adelante, se observan lesiones cloróticas, que luego se necrosan en el centro. Posteriormente, se forman puntos negros llamados "picnidios", los que permiten identificar la enfermedad, llegando a colonizar glumas y espigas en casos severos de infección (Madariaga & Vera, 2017b).

- **Condiciones predisponentes**

La producción de picnidios se produce entre 7-34°C. Requiere alta humedad relativa (90–100%) y follaje mojado. Bajo 90% de HR se detiene la infección y las conidias no son liberadas. Si las condiciones de humedad son favorables en primavera, el periodo de ataque puede extenderse hasta el estado de grano lechoso del trigo (Madariaga & Vera, 2017b).

- **Manejo de la enfermedad**

Una alternativa de biocontrol para la enfermedad es el uso de *Bacillus velezensis*, este bioagente muestra una actividad antagonista significativa, inhibiendo el crecimiento del hongo entre un 72.4% y un 94.3% y causando cambios degenerativos en su micelio. Además, las cepas BZR 336 g y BZR 517 reduce notablemente la infección y aumenta el rendimiento del cultivo entre un 5.0% y un 7.6% (Asaturova et al., 2022).

## 2.12 Microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV)

Se dice que las comunidades microbianas en los suelos conducen el 80 y 90% de los procesos biológicos desarrollados en el suelo, en este conjunto se encuentra en particular un grupo de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV). *Bacillus* spp. forma parte de este microbiota con cepas capaces de producir antibióticos peptídicos y metabolitos que protegen a las plantas de posibles ataques de organismos patógenos; además estimulan el sistema inmune de la planta para protegerlas contra infecciones por bacterias, hongos, o nematodos patogénicos (Valenzuela et al., 2020).

### 2.12.1 Beneficios de MPCV

- Fitoestimulantes, potencian la germinación de las semillas, el enraizamiento, y el crecimiento vegetal mediante la producción de reguladores de crecimiento, vitaminas y otras sustancias.
- Mejoradores de la estructura del suelo y sus propiedades físico-químicas debido a la formación de agregados, lo cual aumenta su fertilidad.
- Biorremediadores, eliminación de agroinsumos sintéticos recalcitrantes y altamente dañinos para el ambiente y salud humana, como pesticidas, herbicidas, entre otros.
- Biofertilizantes, capacidad de proporcionar nutrientes biodisponibles y moléculas bioactivas para el crecimiento y desarrollo incrementado de las plantas
- Controladores de fitopatógenos (Joshi et al., 2019).

## 2.13 *Paenibacillus polymyxa*

La bacteria del género *Polymyxa* es reconocida por su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas, lo que la convierte en un agente biocontrolador y biofertilizante importante y prometedor debido a su versatilidad y la amplia gama de compuestos y características que utiliza para sobrevivir y prosperar en diversos nichos ecológicos (Langendries & Goormachtig, 2021).

### 2.13.1 Taxonomía

Reino: Bacteria

Clase: Bacilli

Orden: Paenibacillales

Familia: Paenibacillaceae

Género: *Paenibacillus*

Especie*: polymyxa* (GBIF, 2023).

### 2.13.2 Características

Reside principalmente en el suelo, la rizosfera y el tejido vegetal, pero también se ha aislado de sedimentos marinos y alimentos fermentados (Lal & Tabacchioni, 2009; Padda et al., 2017).

### 2.13.3 Antecedentes

En este estudio, se encontró que una cepa de biocontrol *P. polymyxa* YLC1, obtenida del suelo alrededor de las raíces de la planta de kiwi, es muy efectiva para controlar el KBC (cancro bacteriano del kiwi), tanto en pruebas de laboratorio como en campo. Esta enfermedad, causada por la bacteria *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* (Psa), puede provocar graves daños a las plantas de kiwi, incluyendo la muerte de ramas y la disminución del rendimiento de los cultivos. El compuesto activo responsable de este control es la polimixina B1, que puede inhibir diferentes bacterias patógenas (Wang et al., 2023).

Estudios en algodón donde se inoculó *Paenibacillus polymyxa* ShX301 demostraron que las raíces y la biomasa del algodón aumentaron significativamente tanto en la parte aérea como subterránea en comparación con las plantas de control. La inoculación incrementó el peso seco de las plántulas en un 45.5% (o el peso fresco en un 60.5%) y las longitudes de las plántulas en un 12.7%. En la parte subterránea, la longitud de las raíces aumentó en un 38% y el peso seco de las raíces en un 38.5% (o el peso fresco en un 47.8%) (Zhang et al., 2018).

Se comprobó en plantaciones de álamo (*Populus* sp.) que la adición de *P. polymyxa* al suelo aumentó la cantidad de bacterias y redujo el número y diversidad de hongos, como *Rhizoctonia* sp., potencialmente patógeno, acompañado de un aumento del rendimiento de álamos (Sui et al., 2019).

## 2.14 Género *Bacillus*

Las bacterias que forman parte del grupo *Bacillus* son conocidas por ser Gram-positivas y por su capacidad de producir endosporas resistentes. Estas bacterias tienen un patrón de crecimiento mayoritariamente aerobio, aunque en ocasiones

pueden funcionar como anaerobias facultativas, y se caracterizan por tener una forma alargada similar a un bastón y la capacidad de movimiento gracias a flagelos (Villarreal et al., 2018).

### 2.14.1 Taxonomía

Reino: Bacteria

Filo: Bacillota

Clase: Bacilli

Orden: Bacillales

Familia: Bacillaceae

Género: *Bacillus* (Bánki et al., 2024).

### 2.14.2 Características

El género *Bacillus* se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, que se aísla de una gran variedad de ambientes, su forma es bacilar con un diámetro de 850 nm, es Gram +; generalmente, móvil con flagelos perítricos, aerobia y anaerobia facultativa, además de catalasa positiva que degrada el almidón. Crece en un amplio intervalo de pH de entre 4.9 a 9.3, a temperaturas de 10 a 48 ºC y un óptimo de 28 a 35 ºC, con la capacidad de formar endosporas (González et al., 2022).

### 2.14.3 Ciclo de vida

Su ciclo de vida se divide en dos fases: crecimiento vegetativo o somático y esporulación. La primera, ocurre en condiciones bióticas y abióticas favorables, en donde la población bacteriana se desarrolla de forma exponencial dividiéndose de manera simétrica por fisión binaria (González et al., 2022).

La segunda fase comienza como una estrategia de supervivencia en presencia de algún tipo de estrés (alta densidad de población, escasez de nutrientes, factores externos como salinidad, temperatura, pH, entre otros), así la célula vegetativa inicia la formación de la endospora, lo cual implica la división celular asimétrica,

dando lugar a la formación de dos compartimentos, célula madre y la inmersión de una preespora. Posteriormente, la preespora se engullida, formando una célula dentro de la célula madre. Durante las etapas posteriores, la preespora es recubierta de capas protectoras (componentes proteicos, peptidoglicano y una pared que residen debajo de ésta, formada por células germinales), seguido de la deshidratación, y la maduración final de la preespora. Finalmente, la célula madre se lisa mediante muerte celular programada, liberando la endospora. La endospora puede permanecer viable en el ambiente hasta que las condiciones sean favorables para iniciar sus procesos metabólicos y generar una célula vegetativa (Villarreal et al., 2018).

### 2.14.4 Formación de biopelículas

Las bacterias y en general todos los microorganismos son vistos como criaturas simples, sin embargo, el estudio intensivo de las bacterias ha revelado que poseen una gran capacidad de diferenciación y comportamientos sumamente complejos. Las biopelículas pueden ser definidas como comunidades de bacterias que se encuentran unidas a una superficie encerradas en una matriz compuesta por sustancias poliméricas extracelulares (SPE). La formación de biopelículas representa un estadio de crecimiento que permite a las bacterias sobrevivir en condiciones hostiles (Chávez, 2022).

### 2.14.5 Colonización de raíces

La colonización del sistema radicular por *Bacillus subtilis*, está dado mediante la formación de biopelículas en el cual, la quimiotáxis debida a los exudados y a los polisacáridos de la planta permiten la detección por los quimiorreceptores de la bacteria, los mismos que ayudan en la localización de la raíz y su establecimiento en la rizósfera. En este caso las células bacterianas se dirigen en conjunto hacia su blanco por un movimiento coordinado comúnmente conocido como “swarming”, el movimiento se ve favorecido por la producción de agentes surfactantes que, en el caso de *B. subtilis*, se denominan surfactinas, que reducen la tensión superficial y permiten el desplazamiento celular (González et al., 2022).

### 2.14.6 Promotora de crecimiento vegetal

*Bacillus subtilis* produce metabolitos como citoquininas, sideróforos, auxinas, antibióticos, entre otros que promueven el crecimiento vegetal. Las citoquininas pueden ser producidas endógenamente por la planta, pero la adición exógena de citoquininas aumenta el proceso de crecimiento. Las funciones de las citoquininas son la inducción de la actividad amilasa y proteasa y la síntesis de auxinas. Mientras tanto, los sideróforos quelatan el hierro ambiental y lo hacen más asequible para las plantas, algunos sideróforos se consideran antibióticos porque limitan el hierro para el crecimiento de patógenos. Además, influye en el ácido 3-indólico acético (IAA), que controla el proceso como la división celular, la diferenciación del tejido vascular y la formación del dominio apical (Flores et al., 2020).

### 2.14.7 Antecedentes

Estudios realizados demuestran que *Bacillus subtilis* promueve el crecimiento en plantas de fenogreco sometidas a estrés por sal y sequía. La cepa BST (*Bacillus subtilis* ER-08) produjo 83.7 g ml $^{-1}$ de giberelinas (GA 3) y 176.1 g ml $^{-1}$ de ácido indol$^{-3}$ acético. Además, BST también generó cianuro de hidrógeno, sideróforo, exopolisacáridos (EPS), amoníaco, celulasa, proteasa, pectinasa y quitinasa. Curiosamente, el aislado BST suprimió el 52% del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* en condiciones in vitro. De igual manera, tiene la capacidad de minimizar efectos perjudiciales del estrés abiótico, salinidad, pH y sequía (Patel et al., 2023).

## 2.15 Inoculación

La inoculación consiste en dar un recubrimiento a las semillas o aplicar organismos al suelo para que sirvan de protección ante enfermedades y brinden soporte nutricional; puede llevarse a cabo a través de bacterias fijadoras de nitrógeno, harinas de roca, consorcios de microorganismos benéficos, etc. El inóculo que se decida aplicar deberá cumplir con diversas funciones y ser efectivo de acuerdo con las condiciones de sanidad, caducidad y genotipo de la semilla, así como las condiciones climáticas de cada zona (INIFAP, 2022).

### 2.15.1 Inoculación de semillas

El inoculante es adquirido en forma de cepas vivas, en forma líquida o sólida húmeda. El objetivo general es aplicar la bacteria a la semilla para que siga siendo viable y pueda infectar todas las raíces. La forma más fácil es comprar semillas preinoculadas. Sin embargo, este método ya no existe, lo más común es la inoculación por contacto de la semilla (Beesten et al., 2019).

### 2.15.2 Inoculación al suelo

La inoculación del suelo implica agregar microorganismos beneficiosos al suelo. Generalmente, esto se hace aplicando gránulos de inoculante con una sembradora equipada con un aplicador de gránulos. Este método puede dar muy buenos resultados, pero es importante asegurarse de que los gránulos fluyan consistentemente hacia la sembradora. Combinar la inoculación del suelo con la inoculación de las semillas, donde se aplican microorganismos directamente a las semillas antes de plantarlas, es especialmente eficaz para mejorar el crecimiento y la salud de las plantas (Beesten et al., 2019).

# CAPÍTULO III

# 3 MARCO METODOLÓGICO

## 3.1 Ubicación de la investigación

### Localización de la investigación

La investigación se llevó a cabo en Laguacoto III, vía San Simón de la parroquia Veintimilla, cantón Guaranda, provincia Bolívar.

### Situación geográfica y edafoclimática

| | |
|---|---|
| Altitud: | 2663 msnm |
| Latitud: | 01° 36’ 52” S |
| Longitud: | 78° 59’ 54” W |
| Temperatura máxima: | 21 °C |
| Temperatura mínima: | 7 °C |
| Temperatura promedio: | 14.4 °C |
| Precipitación media anual: | 980mm |
| Heliofanía: | 900 h/l/año |
| Humedad relativa: | 70% |
| Velocidad el viento: | 6m/s |
| Tipo de suelo: | Franco arcilloso |
| pH del suelo: | 5-7 |

**Fuente:** Estación meteorológica UEB 2019

### Zona de vida

La localidad en estudio de acuerdo a las zonas de vida de Holdrige, corresponde al bosque seco montano bajo (bs – MB) (Holdridge, 1979).

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Material en estudio

- Línea de trigo harinero promisoria (TA18-008)
- Inoculante multiespecie (*Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa*)
- Fertilizantes edáficos

### 3.2.2 Factores en estudio

**Factor A:** Inoculación

A1: Semillas sin inoculación

A2: Semillas de trigo inoculadas *Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa*

**Factor B:** Restricción de nutrientes

B1. Cubre el 100% del requerimiento de nutrientes

B2: Cubre el 75% del requerimiento de nutrientes

B3: Cubre el 50% del requerimiento de nutrientes

B4: Cubre el 25% del requerimiento de nutrientes

B5: Cubre el 0% del requerimiento de nutrientes

### 3.2.3 Tratamientos

T1: Semillas sin inoculación + Cubre el 100% del requerimiento de nutrientes.

T2: Semillas sin inoculación + Cubre el 75% del requerimiento de nutrientes

T3: Semillas sin inoculación + Cubre el 50% del requerimiento de nutrientes

T4: Semillas sin inoculación + Cubre el 25% del requerimiento de nutrientes

T5: Semillas sin inoculación + Cubre el 0% del requerimiento de nutrientes

T6: Semillas de trigo inoculadas *Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa* + Cubre el 100% del requerimiento de nutrientes.

T7: Semillas de trigo inoculadas *Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa* + Cubre el 75% del requerimiento de nutrientes.

T8: Semillas de trigo inoculadas *Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa* + Cubre el 50% del requerimiento de nutrientes.

T9: Semillas de trigo inoculadas *Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa* + Cubre el 25% del requerimiento de nutrientes.

T10: Semillas de trigo inoculadas *Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa* + Cubre el 0% del requerimiento de nutrientes.

### 3.2.4 Tipo de diseño experimental o estadístico

En la presente investigación se empleó un diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA), en arreglo bifactorial 2×5 con tres repeticiones. Según el siguiente detalle

| Fuentes de variación | Grados de libertad | CME* |
|---|---|---|
| Bloques (r-1) | 2 | $f^2 e + 6 f^2$ Bloques |
| FA (Inoculación) (a-1) | 1 | $f^2 e + 6 \Theta^2$ A |
| FB (Niveles de fertilización) (b-1) | 4 | $f^2 e + 6 \Theta^2$ B |
| A x B (a -1) (b -1) | 4 | $f^2 e + 3 \Theta^2$ A* B |
| Error experimental (a*b-1) (r-1) | 18 | $f^2 e$ |
| Total (a*b*r)-1 | 29 | |

* Cuadrados Medios Esperados. Modelo Fijo. Tratamientos seleccionados por el investigador.

### 3.2.5 Manejo del experimento en campo

- **Análisis Físico, Químico del suelo**

Se recolectó una muestra del sitio donde se realizó el ensayo en zig-zag para formar una muestra compuesta a partir de 20 submuestras que fueron colocadas en un balde. La tierra se homogenizó, se tomaron 500 g aproximadamente y se colocaron en una bolsa ziploc. Luego, se enviaron al laboratorio del INIAP para su análisis.

- **Preparación del terreno**

La preparación del terreno para la siembra se llevó a cabo dos semanas antes del proceso de siembra, comenzando con la incorporación y descomposición de malezas. Se utilizó una rastra para limpiar el suelo y eliminar terrones, asegurando así una superficie libre de obstáculos para la germinación. Este proceso se realizó con el uso de un tractor agrícola.

- **Delimitación de ensayo**

Una vez finalizada la preparación y nivelación del terreno, se procedió a marcar las parcelas siguiendo el diseño establecido en el croquis. Este proceso se llevó a cabo utilizando una cinta métrica, piola, y estacas para asegurar una delimitación precisa. Cada parcela tendrá dimensiones de 2 metros de ancho por 1 metro de largo y sus caminos correspondientes.

- **Inoculación de semillas**

Antes de la siembra, se procedió a inocular las semillas de trigo previamente seleccionadas en base a la dosis 250 cc $kg^{-1}$ con productos comerciales Bacillus-5 y fijador de nitrógeno a base de *Paenibacillus polymyxa*. La inoculación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitopatología.

- **Siembra del ensayo**

La siembra se realizó de manera manual, utilizando una cantidad específica de semilla según las recomendaciones del INIAP, con una densidad de 148 kg $ha^{-1}$. El ensayo se sembró en hileras.

- **Fertilización de los ensayos**

En este estudio se llevó a cabo dos aplicaciones de fertilizante, la primera se realizó en el período vegetativo del cultivo, aproximadamente a los 21 días después de la siembra, y la segunda se aplicó en el período reproductivo, a los 60 días después de la siembra. Las fuentes de fertilizantes que se utilizaron incluyen nitrato de calcio, urea, fosfato monopotásico, nitrato de potasio y nitrato de magnesio. Se utilizó una dosificación del 100%, 75%, 50%, 25% y 0%, conforme al requerimiento de acuerdo al siguiente detalle:

| **Elemento** | **Dosis 100% requerimiento (kg $ha^{-1}$)** | **Dosis 75% requerimiento (kg $ha^{-1}$)** | **Dosis 50% requerimiento (kg $ha^{-1}$)** | **Dosis 25% requerimiento (kg $ha^{-1}$)** |
|---|---|---|---|---|
| Nitrógeno (N) | 104 | 78 | 52 | 26 |
| Fósforo (P) | 16 | 12 | 8 | 4 |
| Potasio (K) | 64 | 48 | 32 | 16 |
| Calcio (Ca) | 12 | 9 | 6 | 3 |
| Magnesio (Mg) | 12 | 9 | 6 | 3 |

- **Riego**

Se realizó un riego en el experimento de acuerdo con las condiciones climáticas, especialmente durante la época seca, para asegurar que las plantas recibieron la cantidad adecuada de agua para su desarrollo, con un promedio de 15mm.

- **Manejo de malezas**

Fue ejecutada de manera manual mediante el uso de azadones, con el objetivo de eliminar las arvenses presentes en las unidades experimentales y en los caminos.

- **Control de plagas**

El control de plagas se realizó mediante la aplicación de una combinación de thiamethoxam y lambdacihalotrina, dos insecticidas ampliamente reconocidos por su eficacia en el control de plagas y su rápida absorción por la planta, se aplicó en dosis de 1.5 mL $L^{-1}$.

- **Control de enfermedades**

No se llevó a cabo ningún control de enfermedades.

- **Desmezcla**

Durante la etapa de espigamiento y en madurez fisiológica antes de la cosecha, se llevaron a cabo las desmezclas de malezas como avena, ray Grass y plantas de otras especies como cebada y de otros cultivares de trigo que no correspondieron a la línea TA-18-008.

- **Cosecha**

Una vez finalizado su ciclo fenológico, se procedió a cosechar el trigo manualmente con la ayuda de una hoz en cada una de las parcelas y se colocaron en diferentes sacos para su posterior secado, trilla y limpieza.

- **Trilla**

La trilla se llevó a cabo utilizando una trilladora estacionaría para cada unidad experimental.

- **Almacenado**

Una vez completado todas las etapas de recolección y limpieza del grano, este fue guardado en envases adecuados dentro de la planta de semillas de la Universidad Estatal de Bolívar.

### 3.2.6 Métodos de evaluación (variables respuesta)

- **Porcentaje de emergencia (PE)**

Dato que se evaluó a los 9 días de la siembra mediante la observación de la cantidad emergida de plántulas de trigo en relación a intervalos de (<60% -malo; 60 a 81%-regular; 81 a 100% -bueno).

- **Días al espigamiento (DE)**

Evaluación realizada a través del conteo de los días transcurridos desde la siembra hasta la aparición morfológica de la espiga en un 50 % en cada unidad experimental en la etapa Z65.

- **Número de macollos (NM)**

Una vez que las plantas se encontraron en la etapa (Z65) se evaluó la variable mediante la contabilización en 5 plantas tomadas al azar, en las cuales se contó el número de macollos por planta y se estimó su promedio.

- **Altura de planta (AP)**

Se registró al momento que las plantas se encontraron en la madurez fisiológica (Z91) en 10 plantas al azar mediante una varilla métrica desde la superficie del suelo hasta el extremo de la espiga. Este dato se registró en cm.

- **Mancha foliar (SEVMF)**

Las evaluaciones se realizaron en tres etapas según el estado fisiológico de formación hoja bandera (Z39), espigamiento (Z65) y grano lechoso (Z80) utilizando la escala Horsfall-Barratt en 10 plantas tomadas al azar, se evaluó la cuarta hoja y la hoja bandera. Este dato se expresó en %.

- **Severidad de roya de la hoja (SEVRo)**

Se utilizó la escala modificada de Cobb en tres etapas según el estado fisiológico hoja bandera (Z39), espigamiento (Z65) y grano lechoso pastoso (Z80), para esto se tomó 10 plantas al azar de cada unidad experimental, se evaluó la cuarta hoja y la hoja bandera. Este dato se expresó en %.

- **Fusarium (SEVFu)**

La evaluación de la severidad de fusarium se utilizó la escala diagramática propuesta por Stack and McMullen en la etapa espigamiento (Z65), grano lechoso (Z80), y grano pastoso (Z89). Para esto se evaluó 20 espigas tomadas al azar en cada unidad experimental. Este dato se expresó en %.

- **Densidad radicular (DR)**

La densidad radicular se evaluó tomando muestras al azar en seis puntos por unidad experimental, distribuidos entre las hileras y sobre las hileras, a una profundidad de 0-20 cm con un barreno. Las raíces fueron cuidadosamente extraídas con pinzas y colocadas en una bandeja con agua, que contenía papel milimetrado en su base externa. A continuación, se contaron las intersecciones, el total se multiplicó por 0.3928 y se dividió entre 100, expresando el resultado en $cm^{-3}$.

- **Peso hectolítrico (PH)**

Esta variable se registró una vez que el grano estuvo limpio y seco al 13% de humedad, se recolectó una muestra de 1 kg por unidad experimental y se determinó en una balanza de peso hectolítrico, el resultado se expresó en ($kg\ hL^{-1}$).

- **Peso de mil granos (PM)**

Se evaluó después de la cosecha, para lo tanto se procedió a tomar una muestra al azar de 1000 granos de cada tratamiento y se pesó en una balanza de precisión, y se registró en g.

- **Rendimiento (REN)**

El rendimiento en $kg\ ha^{-1}$, se determinó aplicando la siguiente fórmula matemática:

$$R = PCP \times \frac{10000\ m^2}{ANC\ m^2} \times \frac{100 - HC}{100 - HE}$$

Dónde:

R=Rendimiento en kg $ha^{-1}$ al 13% de humedad

PCP=Peso de Campo por Parcela en kg

ANC=Área Neta Cosechada en $m^2$

HE=Humedad Estándar (13%)

HC=Humedad de cosecha en porcentaje

- **Análisis económico**

A partir del rendimiento total del cultivo, expresado en toneladas por hectárea (tm $ha^{-1}$), se estimó el costo de producción por hectárea de cada tratamiento. Para ello, se empleó el método descrito por Perrin et al. (1978).

### 3.2.7 Análisis de datos

Los datos fueron examinados con un análisis varianza, seguido de la prueba de Tukey al 5% de significancia, además de se determinó el coeficiente de variación. Para todos los análisis se empleó el paquete estadístico Infostat.

# CAPÍTULO IV

## 4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1.1 Análisis de variables agronómicas

**Tabla 1**

*Resultados del análisis de varianza del porcentaje de emergencia (PE), número de macollos (NM), densidad radicular (DR), altura de planta (AP)*

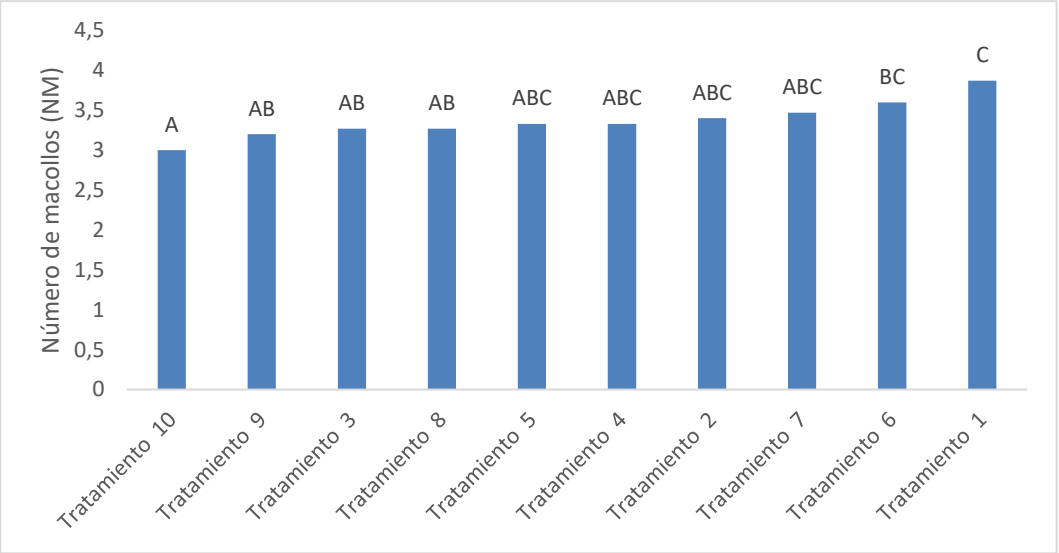
| VARIABLES | GL | F | *p*-valor | CV (%) |
|---|---|---|---|---|
| PE (NS) | 9 | 1,21 | 0.3465 | 8.65 |
| NM (**) | 9 | 4.48 | 0.0033 | 5.72 |
| DR (NS) | 9 | 1.65 | 0.1754 | 27.75 |
| AP (**) | 9 | 10.89 | <0.0001 | 1.62 |
| Error | 18 | | | |

***Nota:*** ** Altamente significativo al $p<0.01$; * $p < 0.05$; NS no significativo; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad.

De acuerdo a la Tabla 1, se deduce que las variables NM y AP, evidenciaron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) para los tratamientos evaluados, mientras que PE y DR no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

**Figura 1.**

*Medias para número de macollos (NM) de la combinación multiespecie Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes*




***Nota:*** Medias con letras iguales no son significativas por la prueba de Tukey $p < 0.05$

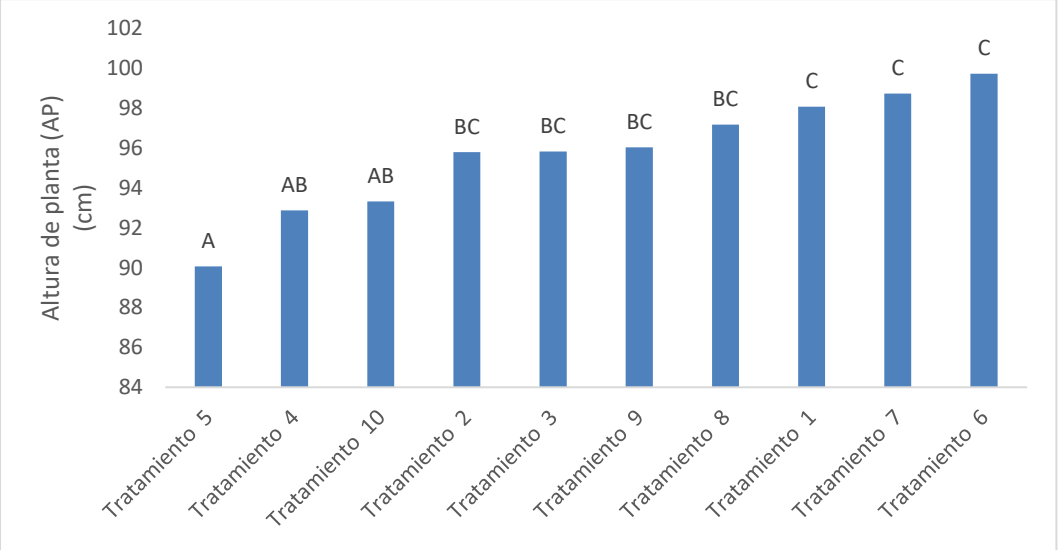
De acuerdo con la Figura 1, el T1 (sin inoculación + cubre el 100% del requerimiento nutricional), presentó el mayor número de macollos, con una media de 3.87, comparado con el T10 (inoculado + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes), que evidenció la media más baja respecto del número de macollos que para este caso fue de 3.

De acuerdo con el presente estudio el cubrir el 100% de la demanda de nutrientes garantiza el que se presente el mayor número de macollos por planta en el cultivo de trigo. Los resultados de la presente investigación coinciden con los obtenidos por Gessesew et al. (2022) que como consecuencia de una fertilización alta de 175 kg $ha^{-1}$ de NPSZnB produjeron más macollos totales y productivos que las parcelas sin fertilizar (control), mostrando que el fertilizante mejora el crecimiento vegetativo y la formación de macollos.

Otra investigación desarrollada por Sharma et al. (2022) mostró que la fertilizante nitrogenada tiene un impacto significativo en el número de macollos. En particular, la dosis de 160 kg N $ha^{-1}$ se destacó al incrementar el número de macollos efectivos aproximadamente 3 a 4 veces en comparación con las parcelas sin fertilización.

**Figura 2.**

*Medias para altura de planta (AP) de la combinación multiespecie Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes*




***Nota:*** Medias con letras iguales no son significativas por la prueba de Tukey $p < 0.05$

De acuerdo a la Figura 2, el T6 (con inoculación + cubre el 100% del requerimiento de nutrientes) alcanzó el mayor promedio de altura que correspondió a 99.73cm, seguido del T7 con 98.73cm y el T1 que tuvo 98.07cm, comparado con el T5 (sin inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes) presentó la media más baja en referencia a la altura de planta que fue de 90.07cm.

En el presente estudio se observó una eficiencia de respuesta a la asociación de la agregación de inoculantes (*Bacillus* spp. y *Paenibacillus polimyxa*) y un cubrimiento de nutrientes al 100% que garantiza una acción promotora en la altura de las plantas de trigo.

Un estudio realizado por Yi et al. (2022) en laboratorio demostró que la suspensión de la cepa *Bacillus subtilis* XZ16-1 en concentraciones de $10^6$ y $10^7$ UFC $mL^{-1}$ promueve significativamente la altura de las plántulas de trigo.

Otros estudios también demostraron que la aplicación en consorcio de tres cepas ZM27 (*Paenibacillus polymyxa*) + ZM63 (*Bacillus subtilis*) + S10 (*Bacillus aryabhattai*) mostraron un máximo del 23%, 17%, 22% y 19% en la altura de las

plantas de trigo en los ensayos de campo I a IV, respectivamente Hussain et al. (2020).

Al considerar la respuesta a la restricción de nutrientes se resalta que la dosis de fertilizantes adecuada determina una significancia en la altura de plantas de trigo. Nuestros resultados coinciden con los observados por Araujo et al. (2020) donde se evidenció que existe un efecto positivo para el desarrollo de la planta al disponer de N durante todo su desarrollo vegetativo y parte del reproductivo.

### 4.1.2 Análisis de variables sanitarias

**Tabla 2.**

*Resultados del análisis de varianza de Severidad de Manchas foliares (SEVMF), Severidad de roya de la hoja (SEVRo) y Severidad de Fusarium (SEVFu)*

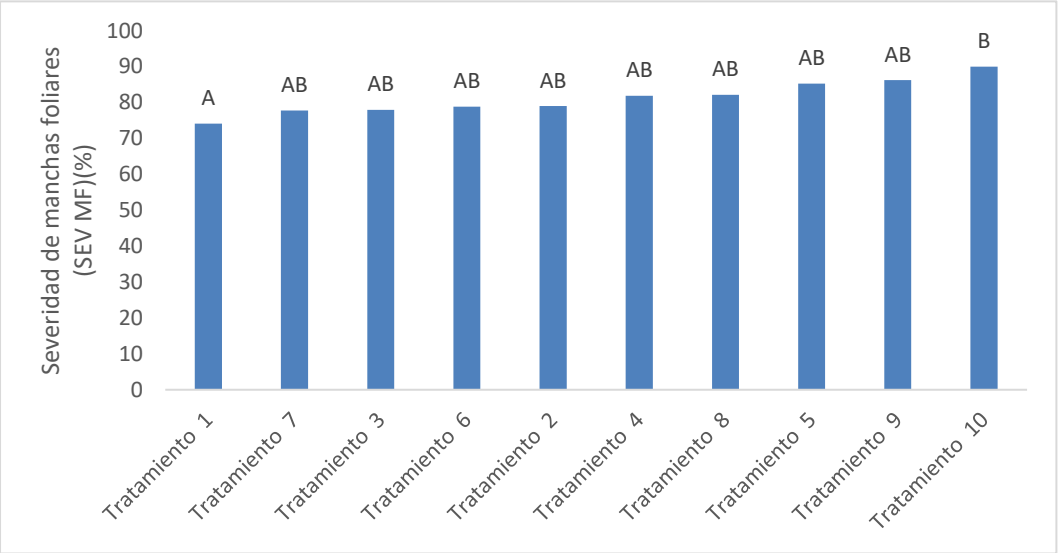
| VARIABLES | GL | F | *p*-valor | CV (%) |
|---|---|---|---|---|
| SEVMF (*) | 9 | 3.1 | 0.0196 | 5.74 |
| SEVRo (**) | 9 | 8.9 | 0.0001 | 34.95 |
| SEVFu (NS) | 9 | 1.41 | 0.2532 | 6.32 |
| Error | 18 | | | |

***Nota:*** ** Altamente significativo al $p<0.01$; * $p < 0.05$; NS no significativo; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad.

Conforme la Tabla 2, se observa que las variables sanitarias, como SEVMF ($p<0.05$) y SEVRo ($p<0.01$) mostraron una diferencia significativa, mientras que la variable SEVFu no mostró diferencias estadísticamente significativas.

**Figura 3.**

*Medias para la severidad de manchas foliares (SEVMF) de la combinación multiespecie Bacillus* spp. *+ Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes*




***Nota:*** Medias con letras iguales no son significativas por la prueba de Tukey $p < 0.05$

Con relación a la Figura 3, el T1 (sin inoculación + cubre el 100% del requerimiento de nutrientes) evidenció la media más baja conforme a la severidad de manchas foliares que correspondió a 74.14%, en contraste a ello el tratamiento 10 (con inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes) reflejó mayor severidad de manchas alcanzando el 89.99%.

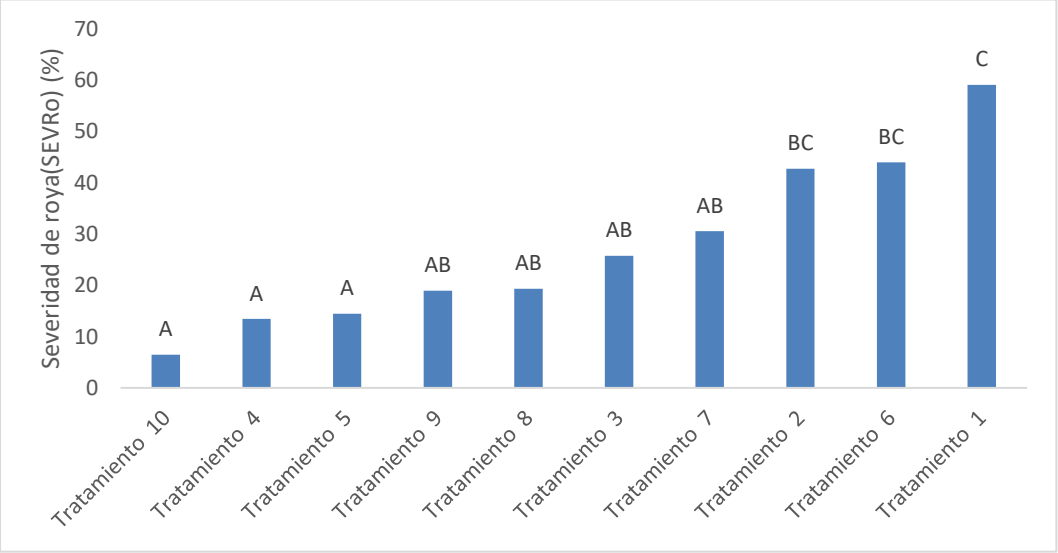
En la presente investigación al tener un cubrimiento del 100% en la nutrición reduce la severidad de manchas foliares, en comparación con los tratamientos con niveles de nutrición más bajos. Este resultado es coherente con la investigación de Schierenbeck et al. (2023) donde se observó que las dosis más altas de N (140 kg N $ha^{-1}$) reducen significativamente un 19.4% la severidad de la mancha bronceada.

Con base en los resultados obtenidos, se puede inferir que las bacterias inoculadas en este estudio, específicamente *Bacillus* spp. y *Paenibacillus polymyxa*, no lograron mitigar de manera significativa el impacto de las manchas foliares en el trigo. En contraposición con investigaciones previas, como la realizada por Reynoso et al. (2022) con *Bacillus velezensis* RC44 llevado a cabo in vitro, donde

se mostró una inhibición del 80-87% del crecimiento micelial de *Pyrenophora tritici-repentis*, se observa que la efectividad de las cepas inoculadas en este estudio fue menor. Varios factores podrían explicar esta diferencia como la formulación del inoculante que juega un papel crucial en la efectividad del biocontrolador, ya que factores como la viabilidad microbiana, la adhesión y la capacidad de mantenerse viables después de la aplicación son esenciales. Según Pirttilä et al. (2021), estos aspectos son fundamentales para garantizar una acción efectiva.

**Figura 4.**

*Medias para la Severidad de roya de la hoja (SEVRo) de la combinación multiespecie Bacillus* spp. *+ Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes*




***Nota:*** Medias con letras iguales no son significativas por la prueba de Tukey $p < 0.05$

Conforme a la Figura 4, se identificó que los T10 (con inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes), T4 (sin inoculación + cubre el 25% del requerimiento de nutrientes) y T5 (sin inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes) revelaron menor severidad con 6.45%, 13.43% y 14,48% respectivamente, a diferencia del T1 (sin inoculación + cubre el 100% del requerimiento de nutrientes) que registró la media más alta con el 59.08% de severidad.

Las enfermedades foliares constituyen unos de los factores que limitan el rendimiento en el cultivo de trigo, de acuerdo al estudio realizado la restricción de nutrientes parece ser el factor más determinante en la severidad de la roya, más que la inoculación por sí sola. El aporte de nutrientes al 100% ocasionó mayores daños, los resultados concuerdan con Schierenbeck et al. (2023) que observó que la fertilización nitrogenada incrementa la severidad de roya de la hoja en tratamientos desprotegidos.

Otro estudio llevado a cabo por Luo et al. (2021) evidenció de igual manera que la fertilización nitrogenada tiene una relación directa con la incidencia y severidad de enfermedades como la roya. En niveles altos de nitrógeno (270 $kg \cdot ha^{-1}$), se observa un incremento significativo, lo que sugiere que el exceso de nitrógeno favorece las condiciones para su desarrollo.

La mayor vulnerabilidad a altas dosis de nitrógeno se ha asociado con los cambios anatómicos y bioquímicos que este provoca, así como el incremento de compuestos orgánicos nitrogenados, los cuales sirven como sustrato para los patógenos biotróficos (Dordas, 2008).

Los datos obtenidos en función de la inoculación no mostraron una influencia significativa, esto difiere con estudios previos donde bacterias como *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas xylanexedens* y *Bacillus subtilis* demostraron alta eficacia en reducir la roya amarilla, con disminuciones de hasta el 65.16% con *B. megaterium* en tratamientos preventivos y hasta el 46.07% en tratamientos curativos (Kiani et al., 2021).

### 4.1.3 Análisis de variables de rendimiento

**Tabla 3.**

*Resultados del análisis de varianza de Rendimiento (REN), Peso de mil granos (PM) y Peso hectolítrico (PH)*

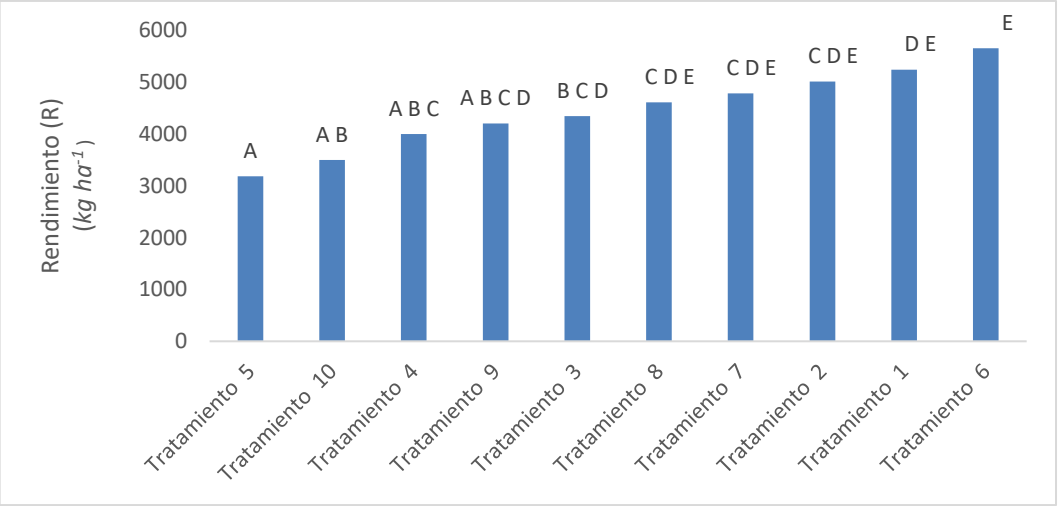
| VARIABLES | GL | F | *p*-valor | CV (%) |
|---|---|---|---|---|
| REN (**) | 9 | 12.5 | <0.0001 | 8.45 |
| PM (NS) | 9 | 1.24 | 0.3309 | 6.35 |
| PH (*) | 9 | 3.15 | 0.0184 | 1.3 |
| Error | 18 | | | |

***Nota:*** ** Altamente significativo al $p<0.01$; * $p < 0.05$; NS no significativo; CV= Coeficiente de variación; GL= Grados de libertad.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3, se observa que las variables de rendimiento, como REN y el PH, presentaron diferencias significativas ($p<0.05$), entre los tratamientos evaluados. Por otro lado, la variable PM no mostró diferencias estadísticamente relevantes.

**Figura 5.**

*Medias para la Rendimiento (REN) de la combinación multiespecie Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes*




***Nota:*** Medias con letras iguales no son significativas por la prueba de Tukey $p < 0.05$

Con atención a la Figura 5, el T6 (con inoculación + cubre el 100% del requerimiento de nutrientes) que constató la mayor media que correspondió a 5651.01 kg $ha^{-1}$, en contraste con el T5 (sin inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes) manifestó la media más baja con 3185.27 kg $ha^{-1}$.

En esta investigación se puede deducir que la restricción de nutrientes al 100% tiene influencia significativa en el rendimiento, lo cual muestra una semejanza con lo obtenido por Rawal et al. (2022) donde el rendimiento de grano de trigo fue significativamente mayor con la aplicación de N a 150 kg $ha^{-1}$, de manera similar, $K_2O$ a 75 kg $ha^{-1}$ produjo rendimientos de grano estadísticamente más altos. El aumento de la aplicación de N y K aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo, así como la absorción de N y K en la planta, lo que resulta en mayores rendimientos de grano de trigo.

Por otro lado, como señala Hussain et al. (2016) se observó un aumento del 17.1% en el rendimiento de grano de trigo al inocularse con la cepa de *Bacillus* MWT-14, combinada con diversas dosis de fertilizantes de nitrógeno y fósforo (0-0, 105-75, 150-100 kg $ha^{-1}$ de NP).

Además, existe un efecto de la nutrición en la combinación con inoculantes en el incremento del rendimiento. De acuerdo con (Ayoub et al., 2022) en el cultivo de maíz, el rendimiento con el tratamiento con *Bacillus* spp. fue de 15110 kg $ha^{-1}$, mayor que promedio del control (sin inocular) de 12521 kg $ha^{-1}$, demostrando que el uso de *Bacillus* ayuda en la mejora de la absorción de nutrientes.

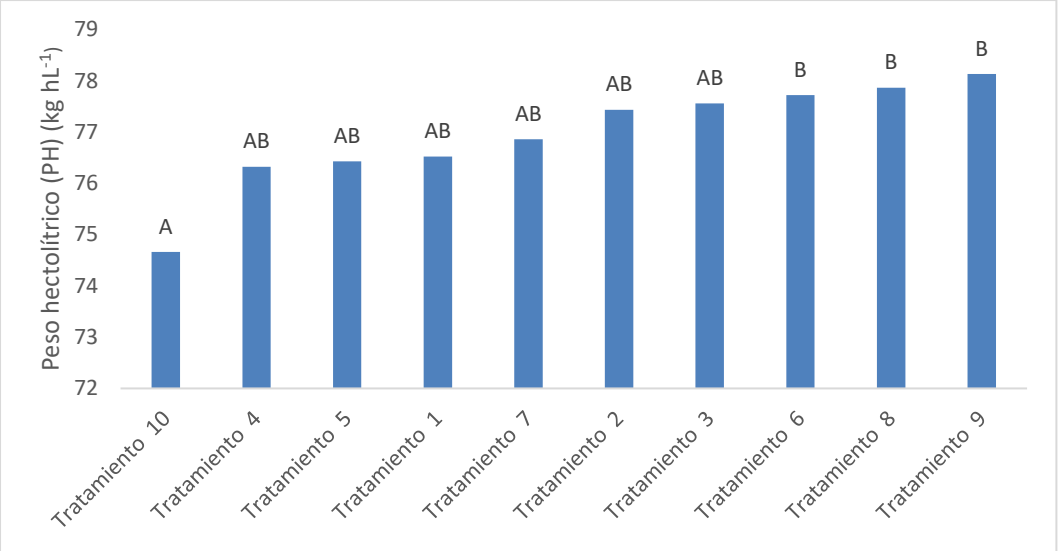
De igual manera una investigación mostró que la co-inoculación resultó en un aumento significativamente mayor en el peso de 1000 granos en comparación con la inoculación única, el uso combinado de ZM27 (*Paenibacillus polymyxa*) + ZM63 (*Bacillus subtilis*) + S10 (*Bacillus aryabhattai*) mostró el aumento máximo (hasta 11%) en el peso de 1000 granos en comparación con el control no inoculado (Hussain et al., 2020).

Una estrategia que respalda estos resultados es la utilización de consorcios microbianos, que implican la combinación de dos o más cepas compatibles y

funcionalmente complementarias. Este enfoque favorece el sinergismo entre las cepas, lo que potencia los beneficios que cada microorganismo podría proporcionar individualmente (Singh et al., 2023).

**Figura 6.**

*Medias para el peso hectolítrico de la combinación multiespecie Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes*




***Nota:*** Medias con letras iguales no son significativas por la prueba de Tukey $p < 0.05$

Conforme a la Figura 6, el T9 (con inoculación + cubre el 25% del requerimiento de nutrientes) que comprendió la media más alta con 78.13 kg $hL^{-1}$. En contraposición el T10 (con inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes) mostró la media más baja con respecto al peso hectolítrico que concierne a 74.66 kg $hL^{-1}$.

Esta investigación se compara con un estudio de Ponce-Molina et al. (2021) realizado, donde la línea TA18-008 presentó un peso hectolítrico de 71 kg $hL^{-1}$, los resultados del presente experimento indican una posible influencia positiva de la inoculación. Sin embargo, estos resultados difieren de la investigación de Ibarra et al. (2023), donde no se encontró una relación significativa entre el uso de microorganismos y diferentes niveles de fertilización.

Nuestros hallazgos son consistentes con el estudio de Lorca (2022) en el que no se han encontrado un impacto significativo de la inoculación bacteriana con *Azospirillum brasilensis* y *Bacillus subtilis* aplicados en forma individual y conjunta en el peso hectolítrico del trigo. Esto sugiere que la respuesta de los cultivos a los microorganismos puede depender de factores como el estrés abiótico, la interacción con el nitrógeno o la especificidad de las cepas bacterianas utilizadas. Por lo tanto, el peso hectolítrico está influenciado por el genotipo, así como por el ambiente donde se produce el cultivo como lo ha reportado Olán et al. (2012).

### 4.1.4 Análisis económico

**Tabla 4.**

*Presupuesto parcial para los tratamientos inoculados con Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa y la aplicación restrictiva de nutrientes*

| Trat. | Rendimiento (kg ha$^{-1}$) | Ajuste al rendimiento (10%) | Total de costos variables | Ingresos totales (USD) | Ingresos netos (USD) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 3185.27 | 2866.743 | $81.98 | $1541.82 | $1459.85 |
| 10 | 3497.6 | 3147.84 | $104.91 | $1693.01 | $1588.10 |
| 4 | 3996.9 | 3597.21 | $262.35 | $1934.69 | $1672.35 |
| 9 | 4202.83 | 3782.547 | $285.27 | $2034.37 | $1749.10 |
| 3 | 4341.25 | 3907.125 | $442.71 | $2101.38 | $1658.66 |
| 8 | 4608.05 | 4147.,245 | $465.64 | $2230.52 | $1764.88 |
| 2 | 5013.8 | 4512.42 | $623.08 | $2426.92 | $1803.84 |
| 7 | 4780.32 | 4302.288 | $646.01 | $2313.91 | $1667.90 |
| 1 | 5241.7 | 4717.53 | $803.44 | $2537.24 | $1733.79 |
| 6 | 5651.01 | 5085.91 | $826.37 | $2735.36 | $1908.99 |

El tratamiento con el menor costo variable correspondió T5 (sin inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes), con un costo de $81.98 USD. En contraste, el tratamiento que alcanzó el costo variable más elevado fue el T6 (con inoculación + cubre el 100% del requerimiento de nutrientes), con un costo de $826.37 USD.

El ingreso neto más bajo se registró en el T5 (sin inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes), alcanzando un valor de $1459.85 USD. Por otro lado, el mayor ingreso neto se obtuvo con el T6 (con inoculación + cubre el 100% del

requerimiento de nutrientes), alcanzando los $1908.99 USD. En cuanto a los tratamientos que presentan las mayores diferencias de ingresos netos según el nivel de cobertura del requerimiento de nutrientes, es notable que aquellos con inoculantes (*Bacillus* spp. y *Paenibacillus polymyxa*) generalmente presentan mejores resultados económicos cuando se les suministra el 100% del requerimiento, destacando el impacto positivo de los inoculantes en la rentabilidad del cultivo.

**Tabla 5.**

*Análisis de dominancia para los tratamientos con semilla inoculada de Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa y niveles de fertilización*

| Trat. | Total de costos variables (USD) | Beneficios netos (USD) | Análisis de dominancia |
|---|---|---|---|
| 5 | 81.97 | $1459.85 | ND |
| 10 | 104.90 | $1588.10 | ND |
| 4 | 262.34 | $1672.35 | ND |
| 9 | 285.27 | $1749.10 | ND |
| 3 | 442.71 | $1658.66 | D |
| 8 | 465.63 | $1764.88 | ND |
| 2 | 623.07 | $1803.84 | ND |
| 7 | 646.00 | $1667.90 | D |
| 1 | 803.44 | $1733.79 | D |
| 6 | 826.37 | $1908.99 | ND |

El tratamiento con el menor costo variable fue el T5: (sin inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes), con un costo de $81.98 USD. En contraste, el tratamiento que presentó el costo variable más alto fue el T6: (con inoculación + cubre el 100% del requerimiento de nutrientes), alcanzando un costo de $826.37 USD. El menor beneficio neto fue registrado en el T5 $1459.85 USD, el mayor beneficio se observó en el T6 con un valor de $1908.99 USD.

Respecto al análisis de dominancia, los tratamientos dominados fueron el T3 (sin inoculación + cubre el 50% del requerimiento de nutrientes), T7 (con inoculación + cubre el 75% del requerimiento de nutrientes) y T1 (sin inoculación + cubre el 100% del requerimiento de nutrientes). Estos tratamientos presentan costos mayores sin ofrecer beneficios proporcionales comparados con otros tratamientos.

En cambio, los tratamientos no dominados (ND) reflejan una mayor eficiencia en términos de costos y beneficios. Se destacan únicamente los tratamientos no dominados (ND), lo que implica que estos presentan una relación favorable entre costos variables y beneficios netos en comparación con los tratamientos dominados. Los tratamientos ND fueron el T5, T10, T4, T9, T8, T2 y T6. Esto reafirma que la eficiencia económica de estos tratamientos puede ser superior en el contexto del estudio.

**Tabla 6.**

*Tasa de retorno marginal de los tratamientos con semilla inoculada de Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa y niveles de fertilización*

| Trat. | Total de costos variables (USD) | Costos variables marginales (USD) | Beneficios netos (USD) | Beneficios netos marginales (USD) | Tasa de retorno marginal (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | $81.98 | | $1459.85 | | |
| 10 | $10491 | $22.93 | $1588.10 | $128.25 | 559% |
| 4 | $26235 | $157.44 | $1672.35 | $84.25 | 54% |
| 9 | $28527 | $22.93 | $1749.10 | $76.75 | 335% |
| 8 | $46564 | $180.37 | $1764.88 | $15.78 | 9% |
| 2 | $62308 | $157.44 | $1803.84 | $38.97 | 25% |
| 6 | $82637 | $203.29 | $1908.99 | $105.15 | 52% |

De acuerdo a la Tabla 6, el tratamiento con la mayor Tasa de Retorno Marginal (TRM) correspondió al tratamiento T10 (con inoculación + cubre el 0% del requerimiento de nutrientes) con un 559%, lo que indica que por cada dólar adicional invertido se generaron $5.59 de beneficios netos marginales. Esto lo convierte en una opción altamente rentable. En contraste el tratamiento 8 (con inoculación + cubre el 50% del requerimiento de nutrientes) presentó la TRM más baja, con un 9%, lo que sugiere que las ganancias adicionales apenas cubren los costos adicionales. De igual manera el tratamiento 10 generó el mayor beneficio neto marginal, alcanzando $128.25 USD, lo que resalta su eficacia en la relación costo-beneficio. Caso contrario el T8 tuvo un beneficio neto marginal de apenas $15.78 USD, lo que lo posiciona como una de las opciones menos atractivas desde el punto de vista económico.

# CAPÍTULO V

## 5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los análisis realizados en esta investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La combinación de inoculantes como *Bacillus* spp. + *Paenibacillus polymyxa* con un cubrimiento completo de nutrientes, como el T6 mostró los mejores resultados en términos de número de macollos (3.87) y altura de planta con 99.73 cm, que los tratamientos sin inoculación y sin fertilización.
- La aplicación del 100% de fertilización redujo la severidad de manchas foliares, no así la inoculación, ya que mostró este efecto durante el desarrollo del cultivo, sugiriendo que esta combinación actúa sobre la mejora de absorción de nutriente del suelo con baja disponibilidad de los mismos como el tratamiento (T10).
- Aunque, para el caso de roya resultó en una mayor severidad, como el tratamiento (T1), este resultado está asociado al tipo de patógeno biotrófico que se ve favorecido por el retardo en la senescencia y la mayor disponibilidad de carbohidratos efecto de una buena nutrición, por lo que es necesario mantener una adecuada nutrición.
- La inoculación y el aporte del 75 al 100% del requerimiento de fertilización favoreció en los rendimientos más altos como el caso de (T6 y T7) comparado con otros tratamientos. Lo que sugiere que la inoculación influye en la absorción de nutrientes frente a una posible restricción de los mismos.
- De acuerdo al análisis económico el tratamiento más rentable se evidenció en el T5 y el tratamiento más eficiente con inoculación resultó en el T10. En este caso, T10, fue más rentable, aunque a medida que se incrementan los costos variables, la rentabilidad tiende a disminuir.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Priorizar tratamientos con una nutrición completa de los requerimientos, ya que esto impacta positivamente el número de macollos, la altura de planta, reducción en la severidad de manchas y el rendimiento en el cultivo de trigo.
- Realizar un análisis de viabilidad de la supervivencia en el tiempo de los inoculantes bajo diferentes condiciones climáticas y de suelo.
- Profundizar en la relación entre la fertilización completa y la mayor severidad de enfermedades observadas, para establecer umbrales adecuados de nutrición que no comprometan la sanidad del cultivo.
- Los tratamientos que minimizan costos variables sin comprometer significativamente los rendimientos son los más atractivos económicamente. Sin embargo, la decisión final dependerá de los objetivos específicos (maximización de rendimiento o eficiencia económica).

# BIBLIOGRAFÍA


Abbate, P., & Divito, G. (2017). Cómo crece y se desarrolla el cultivo de trigo. En A. Guillermo & F. Garcia (Eds.), *Manual del cultivo de trigo* (Vol. 1, pp. 22–30). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320465249_Como_crece_y_se_desarrolla_el_cultivo_de_trigo

Agrafioti, P., & Athanassiou, C. G. (2018). Insecticidal effect of contact insecticides against stored product beetle populations with different susceptibility to phosphine. *Journal of Stored Products Research*, *79*, 9–15.

Aguaysol, C., Reznikov, S., Ploper, D., & González, V. (2019). Enfermedades de trigo. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres EAOCC. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/334971248_Enfermedades_de_trigo

Aranguren, M. (2020). *Diagnóstico nutricional nitrogenado en trigo mediante sensores y aporte de subproductos orgánicos* [Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco]. Recupero de https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/51254/Tesis_Marta_Aranguren_Rivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Araujo, V., Amarilla M., D., Melgarejo, M., Maidana, E., Peralta, E., Bogado, M., Franco, R., Silvero, O., Colman, P., Arce, R., & Villalba, A. (2020). Efecto del fraccionamiento del nitrógeno en las características agronómicas del trigo. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, *25*(1), 41–48.

Arévalo, Y., Pérez, W., Samaniego, T., & Solórzano, R. (2024). *Manual de encalado de suelos ácidos*. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. Recuperado de https://repositorio.inia.gob.pe/items/7386d71c-95ed-4a43-9ba2-9e2d50acbdc4

Asaturova, A., Zhevnova, N., Tomashevich, N., Pávlova, M., Kremneva, O., & Volkova, G. (2022). Efficacy of New Local Bacterial Agents against *Pyrenophora tritici-repentis* in Kuban Region, Russia. *Agronomy*, *12*(2), 373.

Ayoub, I., Bigatton, E. D., Ballatore, A., Gastaldi, N., Berdini, A., Archilla, M. V., Bruno, M., Pizzolitto, R. P., Martín, M. P., Dubini, L. E., Vazquez, C., Merlo, C., & Lucini, E. I. (2022). Evaluación del efecto bioestimulante de *Bacillus* spp como rizobacteria promotora del crecimiento vegetal sobre el cultivo de maíz (*Zea mays* l.). *Nexo Agropecuario, 10 (1)*, 1-6.

Banco Central del Ecuador. (2007). *División de Comercio Exterior*.

Bánki, O., Roskov, Y., Döring, M., Ower, G., Hernández Robles, D. R., Plata Corredor, C. A., Stjernegaard Jeppesen, T., Örn, A., Pape, T., Hobern, D., Garnett, S., Little, H., DeWalt, R. E., Ma, K., Miller, J., Orrell, T., Aalbu, R., Abbott, J., & Aedo, C. (2024a). *Puccinia striiformis Westend*. Catalogue of Life, Amsterdam, Netherlands. Recuperado de https://www.catalogueoflife.org/data/taxon/4QF7Z

Basantes, E. (2015). *Manejo de cultivos Andino del Ecuador* (1ª ed. electrónica). Editorial Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado de https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b3f8e1aa-f491-4cbb-afe2-37e64edb6682/content

Beesten, F., Miersch, M., & Recknagel, J. (2019). *Inoculation de graines de soja*. Organic eprints. Recuperado de https://orgprints.org/id/eprint/39224/2/von-beesten-etal-2019-Inoculation%20FR.pdf

Bourak, K., Sare, A., Allaoui, A., Jijakli, M., & Massart, S. (2023). Impact of Two Phosphorus Fertilizer Formulations on Wheat Physiology, Rhizosphere, and Rhizoplane Microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(12).

Candia, S. (2020). *Plagas de trigo y su manejo*. IPTA-CAPECO-INBIO Recuperado de https://capeco.org.py/wp-content/uploads/2020/07/5-Gacetilla-05-2020-Trigo-Control-de-plagas.pdf

Chávez, V. M. (2022). Biopelículas bacterianas, una forma muy compleja de supervivencia y colaboración. *Milenaria, Ciencia y Arte*, *20*, 16–18.

Cherlinka, V. (2023). *Cultivo De Trigo: Como Sembrar, Manejar Y Cosechar*. EOS Data Analytics. Recuperado de https://eos.com/es/blog/cultivo-de-trigo/

Chimento, M. (2020). *El carbón volador, ¿qué es y cómo afecta al trigo?* El Agrario. Recuperado de https://www.elagrario.com/agricultura-el-carbon-volador-que-es-y-como-afecta-al-trigo-15495.html

Cinalli, M. (2024). *Producción y calidad de diferentes cultivares de trigo pan con fertilización nitrogenada en un sitio del sudoeste Bonaerense* [Tesis, Universidad Nacional del Sur]. Recuperado de https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/6746/Cinalli%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CIREN. (2021). *Ficha Técnica Trigo.* [pdf]. Recuperado de file:///D:/NO%20ELIMINAR/Downloads/Ficha_Trigo.pdf

CONAHCYT. (2023). *Trigo*. Recuperado de https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/trigo

Corporación Financiera Nacional B.P. (2022). *Ficha sectorial trigo*: subgerencia de análisis de productos y servicios. Recuperado de https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2022/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Trigo.pdf

DGSV-CNRF. (2020). Pulgón verde de los cereales *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aphididae). cereales. SADER-SENASICA. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600885/Pulg_n_verde_de_los_cereales.pdf

Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. *A review. Agron. Sustain*, *28*, 33–46.

Espada, B. (2022). *¿Cuál es la diferencia entre el trigo duro y el trigo blando?* Ok diario. Recuperado de https://okdiario.com/curiosidades/cual-diferencia-trigo-duro-trigo-blando-9065625

Flores Olivas, A., Anguiano Cabello, J., Portugal, O. V, Arredondo Valdés, R., & Laredo Alcalá, E. (2020). Evaluación de cepas de *Bacillus subtilis* como promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Bio Ciencias*, *6*, 418.

GBIF. (2023). *Paenibacillus polymyxa* (Prazmowski, 1880) Ash et al., 1994. *Int. J. Syst. Bacteriol*, *44*, 852. Recuperado de https://doi.org/https://doi.org/10.15468/39omei

Gessesew, W. S., Elias, E., Gebresamuel, G., & Tefera, W. (2022). Soil type and fertilizer rate affect wheat (*Triticum aestivum* L.) yield, quality and nutrient use efficiency in Ayiba, northern Ethiopia. *PeerJ*, *10*.

Golik, S. (2022). Trigo: origen, sistemática, importancia. En *Cereales de invierno* (pp. 10–21). Editorial Universidad de La Plata Recuperado de https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/156560

Gómez, M., León, A., & Rosell, C. (2007). De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica (H. Báez, Ed.). Recuperado de https://digital.csic.es/bitstream/10261/17118/1/libro%20panificacion-2007.pdf

Gómez, M., León, A., & Rosell, C. (2007). Trigo. En A. León & C. Rosell (Eds.), *De tales harinas, tales panes* (pp. 19–71). Recuperado de https://digital.csic.es/bitstream/10261/17118/1/libro%20panificacion-2007.pdf

González, Y., Ortega, J., Anducho, M. A., & Mercado, Y. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, *25*.

Guzmán, A., Gusqui, R., & Inoue, H. (2015). Manejo Integrado del Cultivo de Cebada y Trigo (*Hordeum vulgare*) y (*Triticum aestivum*). Guía Técnica 1. Proyecto de Desarrollo Rural Integral Sostenible en la Provincia de Chimborazo “Minga Sumak Kawsay”, GADPCH.

Hallman J. (2001). Plant Interaction with endophytic bacteria. In M. Jeger & N. Spence (Eds) *Biotic Interactions in Plant-Pathogen associations*. CAB International

Hasanuzzaman, M., Mahmud, J., Anee, T., Nahar, K., & Islam, M. (2018). Drought stress tolerance in wheat: Omics approaches in understanding and enhancing antioxidant defense. In S. Zargar & M. Zargar (Eds.), *Abiotic stress-mediated sensing and signaling in plants: An omics perspective* (pp. 267–307). Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7479-0_10

Holdridge LR (1979) Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica. 216 pp.

Hussain, A., Ahmad, M., Nafees, M., Iqbal, Z., Luqman, M., Jamil, M., Maqsood, A., Mora-Poblete, F., Ahmar, S., Chen, J. T., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Plant-growth-promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species improve the nutritional status of *Triticum aestivum* L. *PLoS ONE*, 15 (12).

Hussain, M., Asgher, Z., Tahir, M., Ijaz, M., Shahid, M., Ali, H., & Sattar, A. (2016). Bacteria in combination with fertilizers improve growth, productivity and net returns of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *53*(3), 633–645.

Ibarra, A. L., Villarreal, M. F., Parra, F. I., Yepez, E. A., Guzmán, C., Gutierrez, M. A., Valdez, L. C., Saint, C., & Santos, S. de L. (2023). Effect of a native bacterial consortium on growth, yield, and grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) under different nitrogen rates in the Yaqui Valley, Mexico. *Plant Signaling and Behavior*, *18*(1).

INEC. (2023). *Tabulados de la encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC*. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/

INIFAP. (2022). *Inoculación de Semillas*. Gobierno de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737320/11_Inoculacio_n_de_semilla.pdf

IPNI. (2002, enero 28). *Requerimientos nutricionales de los cultivos*. Recuperado de http://lacs.ipni.net/article/LACS-1091

Joshi, H., Somduttand, C., & Mundra, S. (2019). Role of effective microorganisms (EM) in sustainable agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.*, *8*(3), 172–181.

Kiani, T., Mehboob, F., Hyder, M. Z., Zainy, Z., Xu, L., Huang, L., & Farrakh, S. (2021). Control of stripe rust of wheat using indigenous endophytic bacteria at seedling and adult plant stage. *Scientific Reports*, *11*(1).

Lal, S., & Tabacchioni, S. (2009). Ecology and biotechnological potential of *Paenibacillus polymyxa*: a minireview. *Indian J Microbiol*, *49*, 2–10.

Langendries, S., & Goormachtig, S. (2021). *Paenibacillus polymyxa*, a Jack of all trades. *Environmental Microbiology*, *23*(10), 5659–5669.

Lorca, J. (2022). E*fecto de la inoculación con diferentes cepas de pgpr (rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas) sobre la producción del cultivo de trigo* [Tesis, Universidad Nacional del Noroeste]. Recuperado de https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/522/TFG%20Juan%20Pablo%20Lorca%20Ing.%20Agron%C3%B3mica.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Luo, C., Ma, L., Zhu, J., Guo, Z., Dong, K., & Dong, Y. (2021). Effects of Nitrogen and Intercropping on the Occurrence of Wheat Powdery Mildew and Stripe Rust and the Relationship With Crop Yield. *Frontiers in Plant Science*, *12*.

Madariaga, R., & Vera, C. (2017a). *Roya de la hoja*. (Ficha técnica 76). INIA. Recuperado de https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/a10ac7ca-f5cf-4b84-87bd-8b6867a27ac0/content

Madariaga, R., & Vera, C. (2017b). *Septoriosis de la hoja del trigo.* (Ficha técnica 75). INIA. Recuperado de https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/66995/NR42119.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Es%20considerada%20una%20enfermedad%20de,observan%20a%20inicios%20de%20macolla

Malhotra, H., Vandana, S., Sharma, R., & Pandey. (2018). Phosphorus nutrition: Plant growth in response to deficiency and excess. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*, 171

Manrique, E. M., & Vera, V. J. (2022). Cereales (Técnicas de análisis). Editorial Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaueb/228602?page=62

Olán, M., Espitia, E., López, H., Villaseñor, H. E., Peña, R. J., & Herrera, J. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (Vol. 3).

Padda, K. P., Puri, A., & Chanway, C. P. (2017). *Paenibacillus polymyxa*: a prominent biofertilizer and biocontrol agent for sustainable agriculture. In V. Meena, P. Mishra, J. Bisht, & A. Pattanaya (Eds.), *Agriculturally Important Microbes for Sustainable* (Vol. 2, pp. 165–191). Springer. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5343-6_6#citeas

Patel, M., Islam, S., Husain, F. M., Yadav, V. K., Park, H. K., Yadav, K. K., Bagatharia, S., Joshi, M., Jeon, B. H., & Patel, A. (2023). *Bacillus subtilis* ER-08, a multifunctional plant growth-promoting rhizobacterium, promotes the growth of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plants under salt and drought stress. *Frontiers in Microbiology*, *14*.

Pirttilä, A. M., Tabas, H. M. P., Baruah, N., & Koskimäki, J. J. (2021). Biofertilizers and biocontrol agents for agriculture: How to identify and develop new potent microbial strains and traits. *Microorganisms*, 9(4).

Pistoni, L. (2021). Cultivo-de-Trigo. Escuela Agrotécnica "Lib. Gral. San Martín".

Ponce, L., Garófalo, J., Velásquez, J., Noroña, P., & Jiménez, C. (2023). Manual para la producción sostenible de trigo en la Sierra ecuatoriana (Manual No. 132). INIAP. Recuperado de https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6016

Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Noroña, P., & Campaña, D. (2021). Actividades de Investigación en Cereales Año 2020 (Boletín técnico No. 181). INIAP. Recuperado de https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5973/1/ACTIVIDADES%20DE%20INVESTIGACI%C3%93N%20EN%20CEREALES%20A%C3%91O%202020%20impresa.pdf

Rawal, N., Pande, K. R., Shrestha, R., & Vista, S. P. (2022). Nutrient use efficiency (NUE) of wheat (*Triticum aestivum* L.) as affected by NPK fertilization. *PLOS ONE*, *17*(1).

Reynoso, A., Sautua, F., Carmona, M., Chulze, S., & Palazzini, J. (2022). Control biológico de *Pyrenophora tritici-repentis* en trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo condiciones in vitro. En *Libro de Resúmenes de la III Reunión Argentina de Micología: Esporulando Pospandemia* (p. 60). Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/228484

Rizo, D., & Palma, N. (2019). Proyecto Gestión del Conocimiento para la Producción Sostenible de hortalizas en Nicaragua (Guía técnica No. 3). Rikolto. Recuperado de https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/guia_repollo_2.pdf

Rissi, Y. (2022). *La escala fenológica del cultivo del trigo.* PET Agronomía. Recuperado de https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2022/02/14/a-escala-fenologica-da-cultura-do-trigo

Román, R. E., Kutcher, H. R., & Dallagnol, L. J. (2023). *Pyrenophora tritici-repentis*: A Worldwide Threat to Wheat. In R. Manyera & M. Wamalwa (Eds.), *Wheat Research and Utilization*. Recuperado de https://doi.org/10.5772/intechopen.110306

Sarwar, M., Saleem, M. F., Maqsood, H., Ullah, N., Khan, A., Waqas, M., Sattar, N., Tasneem, M., Xu, X., Zhangli, H., & Shuang, Y. (2022). Strengthening leaf physiological functioning and grain yield formation in heat-stressed wheat through potassium application. *Frontiers in Plant Science*, *13*.

Schierenbeck, M., Fleitas, M. C., & Simón, M. R. (2023). The Interaction of Fungicide and Nitrogen for Aboveground Biomass from Flag Leaf Emergence and Grain Yield Generation under Tan Spot Infection in Wheat. *Plants*, *12*(1).

Scholz, P., Ortiz, A., & Kohli, M. (2021). Control químico de la fusariosis de espiga de trigo y su efecto en la producción de granos y componentes de calidad. *Investigación Agraria*, 23(1).

Sharma, S., Kaur, G., Singh, P., Alamri, S., Kumar, R., & Siddiqui, M. H. (2022). Nitrogen and potassium application effects on productivity, profitability and nutrient use efficiency of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLoS ONE*, *17*(5).

Simón, M., Dietz, J., & Schierenbeck, M. (2018). Maíz: Manejo de plagas. En M. Simón & S. Golik (Eds.), *Cereales de verano* (pp. 101-132). Universidad de La Plata. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/162699

Singh, A., Yadav, V. K., Chundawat, R. S., Soltane, R., Awwad, N. S., Ibrahium, H. A., Yadav, K. K., & Vicas, S. I. (2023). Enhancing plant growth promoting rhizobacterial activities through consortium exposure: A review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11.

Sui, J., Ji, C., Wang, X., Liu, Z., Sa, R., & Hu, Y. (2019). A plant growth-promoting bacterium alters the microbial community of continuous cropping poplar trees' rhizosphere. *J Appl Microbiol*, *126*, 1209–1220.

Tsaganou, F. K., Vassilakos, T. N., & Athanassiou, C. G. (2021). Insecticidal effect of thiamethoxam against seven stored-product beetle speciesalmacenados. *ScienceDirect*, *93*.

Uranda. (2019). *Trigo: calorías, índice glucémico y valor nutritivo*. Zona de Alimentación. Recuperado de https://zonadealimentacion.com/2019/02/01/trigo-calorias-indice-glucemico-y-valor-nutritivo/

Val, J., Morales, G., Torres, F., Bonete, A., Martín, I., & Maresma, Á. (2022). La fertilización del trigo: ensayos de larga duración en Andalucía. EuroChem & IFAPA. Recuperado de https://www.eurochemiberia.com/wp-content/uploads/sites/9/2022/12/2022_Ensayos-fertilizacion-larga-duracion-IFAPA.pdf

Valenzuela, V., Gálvez-Gamboa, G. T., Villa-Rodríguez, E., Parra-Cota F. I, Gustavo, S., & De los Santos, V. S. (2020). Lipopéptidos producidos por agentes de control biológico del género *Bacillus*: revisión de herramientas analíticas utilizadas para su estudio. *Mex. Cienc. Agríc*, 419–432.

Vallejos, E., & Céspedes, C. (2020). Manejo agroecológico y control de gorgojos de granos almacenados (*Sitophilus* spp.). INIA. Recuperado de https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/a2d3f4c2-567b-460e-8402426394ba8760/content

Villarreal, M. F., Villa, E. D., Cira, L. A., Estrada, M. I., Parra, F. I., & De los Santos, S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, *36*(1).

Wang, H., Wang, N., Tan, Y., Mi, Q., Mao, Y., Zhao, C., Tian, X., Liu, W., & Huang, L. (2023). *Paenibacillus polymyxa* YLC1: a promising antagonistic strain for biocontrol of Pseudomonas syringae pv. actinidiae, causing kiwifruit bacterial canker. *Pest Management Science*, *79*(11), 4357-4366

Wang L, Zhang, L., Liu, Z., Zhao, D., Liu, X., & Zhang, B. (2013). A Minimal Nitrogen Fixation Gene Cluster from *Paenibacillus* sp. WLY78 Enables Expression of Active Nitrogenase in *Escherichia coli*. *Plos Genetics*, 9(10).

Xie, J., Shi, H., Du, Z., Wang, T., Liu, X., & Chen, S. (2016). Comparative genomic and functional analysis reveal conservation of plant growth promoting traits in *Paenibacillus polymyxa* and its closely related species. *Scientific Reports*. 10.1038/srep21329 PMID: 26856413

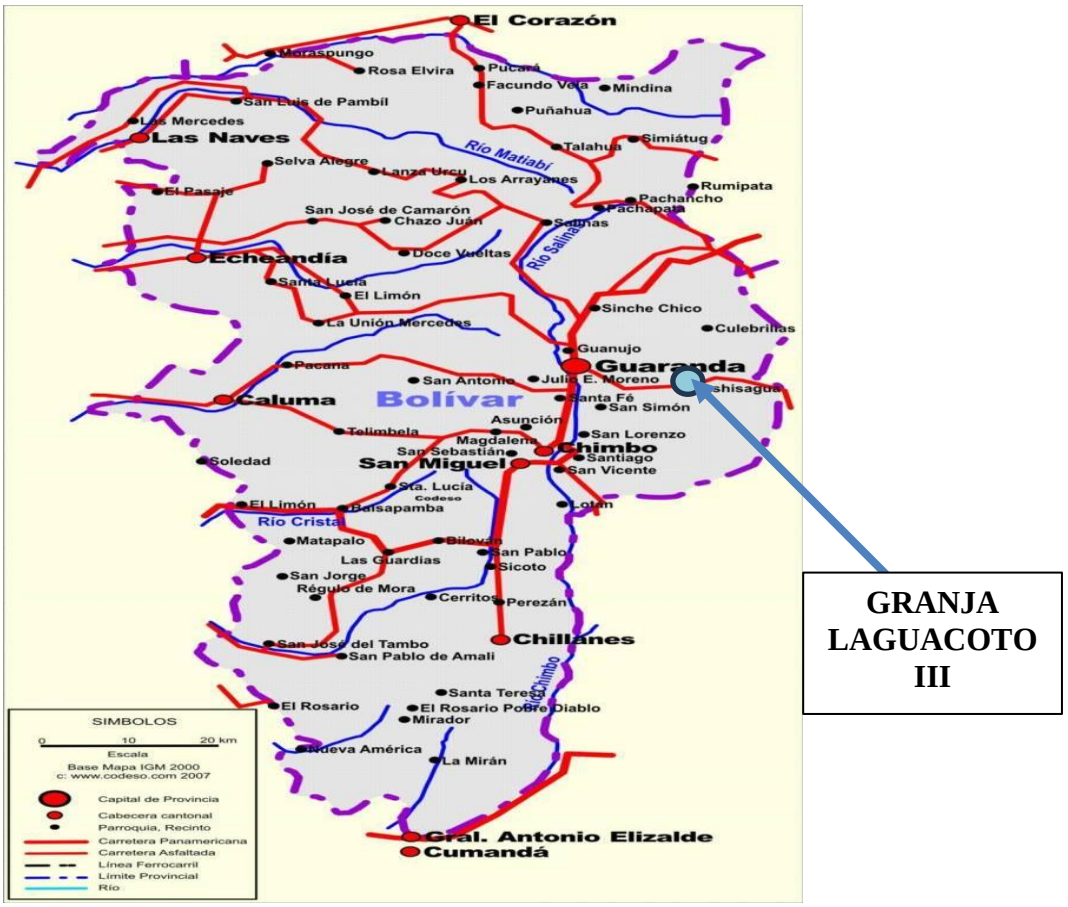
Yi, Y. J., Yin, Y. N., Yang, Y. A., Liang, Y. Q., Shan, Y. T., Zhang, C. F., Zhang, Y. R., & Liang, Z. P. (2022). Antagonistic Activity and Mechanism of Bacillus subtilis XZ16-1 Suppression of Wheat Powdery Mildew and Growth Promotion of Wheat. *Phytopathology*, *112*(12), 2476–2485.

Yzarra, J., & López, F. (2017). *Manual de observaciones fenológicas*. SENAMHI. Recuperado de https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/272

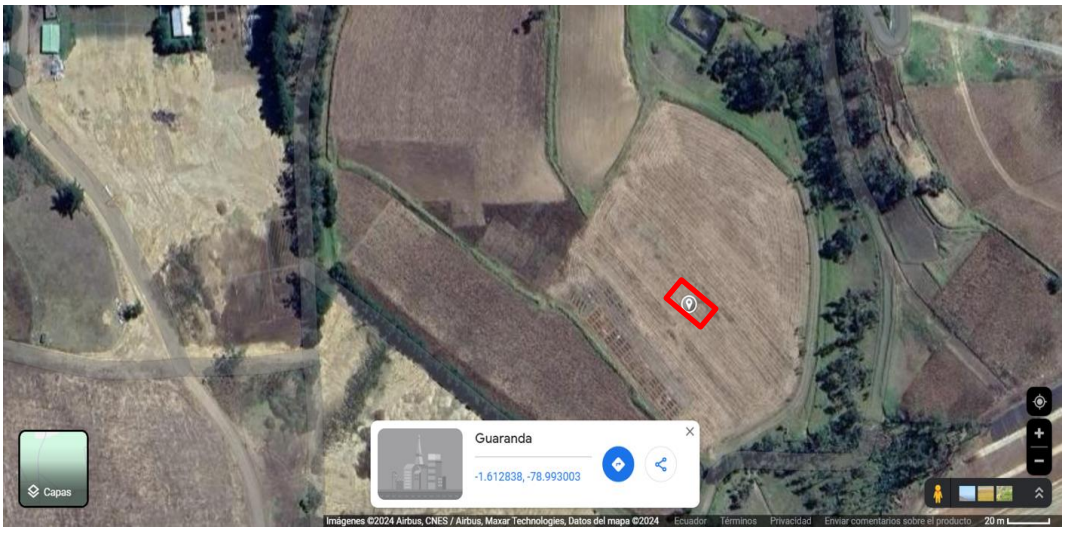
Zhang, F., Li, X.-L., Zhu, S.-J., Ojaghian, M., & Zhang, J.-Z. (2018). Biocontrol potential of *Paenibacillus polymyxa* against *Verticillium dahliae* infecting cotton plants. *Biological control*, *127*, 70-77.

# ANEXOS

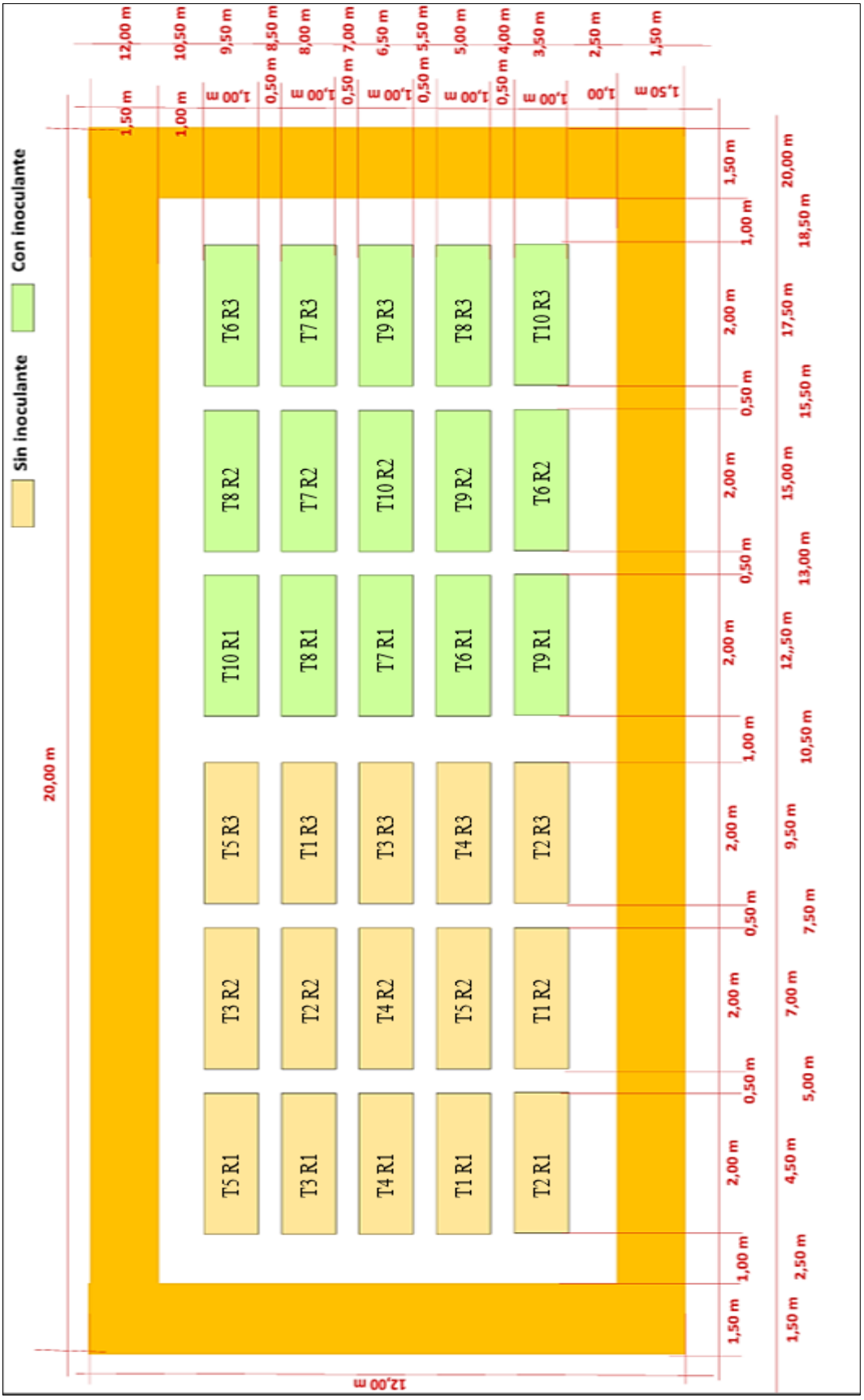
**Anexo 1.** Mapa de la ubicación




## Proyección



**Anexo 2.** Croquis del ensayo



MC-LASPA-2201-01

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**
**ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA**
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS**
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504240
Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

**INFORME DE ENSAYO No: 24-0054**

**NOMBRE DEL CLIENTE:** Román Ramos Andrea Elizabeth
**PETICIONARIO:** Román Ramos Andrea Elizabeth
**EMPRESA/INSTITUCIÓN:** Román Ramos Andrea Elizabeth
**DIRECCIÓN:** Guaranda

**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 26/02/2024
**HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 11:14
**FECHA DE ANÁLISIS:** 26/02/2024
**FECHA DE EMISIÓN:** 15/05/2024
**ANALISIS SOLICITADO:** S4

| Análisis | pH | | N | | P | | S | | B | | K | | Ca | | Mg | | Zn | | Cu | | Fe | | Mn | | Ca/Mg | Mg/K | Ca+Mg/K | Σ Bases | MO | | CO.* | Textura (%) | | | | IDENTIFICACIÓN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unidad | | | ppm | | ppm | | ppm | | ppm | | meq/ 100g | | meq/ 100g | | meq/ 100g | | ppm | | ppm | | ppm | | ppm | | | | | meq/ 100g | % | | % | Arena | Limo | Arcilla | Clase Textural | |
| 24-0189 | 7,11 | P N | 43,38 | M | 13,01 | M | 14,19 | M | 0,85 | B | 0,58 | A | 15,87 | A | 3,20 | A | 1,5 | B | 15,3 | A | 128 | A | 12,8 | M | 4,95 | 5,56 | 33,09 | 19,65 | 2,48 | A | | 32 | 39 | 29 | FRANCO-ARENOSO | Muestra 1 |

| Análisis | Al+H* | | Al* | | Na* | | C.E. * | | N. Total* | N-NO3* | K H2O* | P H2O* | Cl* | | pH KCl* | | IDENTIFICACION |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ppm | | ppm | | meq/ 100g | | | | % | ppm | meq/ 100g | ppm | ppm | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**OBSERVACIONES:**

*** Ensayos no solicitados por el cliente**

| METODOLOGIA USADA | | | |
|---|---|---|---|
| pH = | Suelo: Agua (1:2,5) | P K Ca Mg = | Olsen Modificado |
| S,B = | Fosfato de Calcio | Cu Fe Mn Zn = | Olsen Modificado |
| | | B = | Curcumina |

| INTERPRETACION | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| pH | | | | Elemento | |
| Ac = | Acido | N = | Neutro | B = | Bajo |
| LAc = | Liger. Acido | LAl = | Lige. Alcalino | M = | Medio |
| PN = | Prac. Neutro | Al = | Alcalino | A = | Alto |
| RC = | Requieren Cal | | | T = | Tóxico (Boro) |

| ABREVIATURAS | |
|---|---|
| C.E = | Conductividad Eléctrica |
| M.O. = | Materia Orgánica |

| METODOLOGIA USADA | |
|---|---|
| C.E . = | Pasta Saturada |
| M.O. = | Dicromato de Potasion |
| Al+H = | Titulación NaOH |

| INTERPRETACION | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Al+H,Al y Na | | C.E. | | M.O y Cl | |
| B = | Bajo | NS = | No Salino | S = | Salino | B = | Bajo |
| M = | Medio | LS = | Lig. Salino | MS = | Muy Salino | M. = | Medio |
| T = | Tóxico | | | | | A = | Alto |

Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY

**LABORATORISTA**

Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electronico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la informacion.

* Opiniones de interpretación ,etc,que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

**Anexo 3.** Análisis del suelo

**Anexo 4.** Base de datos

Los datos de esta investigación se encuentran disponibles en el repositorio abierto del Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Estatal de Bolívar en la siguiente dirección web: https://doi.org/10.17605/OSF.IO/JRGKX.

**Anexo 5.** Fotografías

**Análisis, preparación, cuadrado y trazado del terreno**



**Inoculación**



**Siembra**



**Riego**



**Evaluación porcentaje de emergencia**



**Fertilización**



**Control de plagas**



**Control de malezas**



**Evaluación días al espigamiento**



**Evaluación número de macollos**



**Severidad de manchas foliares**



**Severidad de roya**



**Severidad Fusarium**



**Altura de planta**



**Visita de campo**



**Densidad radicular**



**Cosecha**



**Almacenamiento**



**Trilla**



**Limpieza del grano**



**Peso de campo por parcela**



**Porcentaje de humedad**



**Peso de mil granos**



**Peso hectolítrico**



**Predefensa del proyecto**



**Anexo 6.** Glosario de términos técnicos

**Antibióticos peptídicos. -** Moléculas bioactivas sintetizadas por microorganismos, con capacidad de inhibir el crecimiento de patógenos.
**Autógama. -** Planta que se auto-fertilizan, es decir, se reproduce mediante polinización de sus propias flores sin necesidad de polen de otras plantas.
**Biomasa. -** Cantidad total de materia orgánica de un organismo o de un ecosistema, que se utiliza para medir el crecimiento de las plantas o la producción de energía.
**Biopelículas. -** Estructuras organizadas de bacterias adheridas a superficies, encapsuladas en una matriz de sustancias poliméricas extracelulares que les confieren resistencia y estabilidad en condiciones hostiles.
**Biorremediadores. -** Microorganismos capaces de degradar o eliminar compuestos químicos dañinos, como pesticidas y herbicidas, restaurando la salud ambiental del suelo.
**Coleóptilo. -** Estructura protectora que recubre el primer brote o hojas de las gramíneas durante la germinación.
**Epicótilo. -** Parte del eje de la planta que se encuentra por encima de la radícula y por debajo de las primeras hojas verdaderas.
**Exopolisacáridos (EPS).** - Sustancias producidas por bacterias que facilitan la formación de biopelículas y la interacción con raíces vegetales, mejorando la estabilidad y la comunicación en la rizosfera.
**Metabolitos. -** Compuestos químicos producidos por los organismos durante su metabolismo, que pueden ser esenciales para su crecimiento, desarrollo y supervivencia. Desempeñan roles importantes en la interacción con plantas y otros organismos.
**Quimiotáxis.** - Movimiento dirigido de microorganismos hacia o desde estímulos químicos, como los exudados de raíces vegetales.
**Rizoplano. -** Superficie que está en contacto directo con las raíces de la planta, donde ocurre la interacción con los microorganismos del suelo.
**Rizosfera. -** Zona del suelo que rodea las raíces de las plantas y que alberga comunidades microbianas altamente activas e influyentes en el crecimiento vegetal.
**Senescencia. -** Proceso final del ciclo de vida de una planta, que incluye el envejecimiento, la disminución de la actividad metabólica y la degradación de los tejidos.
**Sideróforos. -** Moléculas producidas por microorganismos que quelatan hierro, aumentando su disponibilidad para las plantas y limitando el acceso de patógenos a este nutriente esencial.
**Surfactinas. -** Moléculas que actúan como agentes surfactantes, facilitando el movimiento bacteriano y el establecimiento en la rizosfera.
**Testa. -** Capa externa de la semilla que la protege, también conocida como cáscara o envoltura.
**Translocación. -** Movimiento de sustancias, como agua, nutrientes y productos de la fotosíntesis, dentro de la planta desde las raíces hacia las hojas o viceversa.