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 MICORRIZAS FRENTE AL MANEJO RESTRICTIVO DE NUTRIENTES SOBRE LA SANIDAD Y EL RENDIMIENTO EN TRIGO *(Triticum aestivum* L.*)*.

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

Autor:

Dany Alexander Morales Catagña

Tutora:

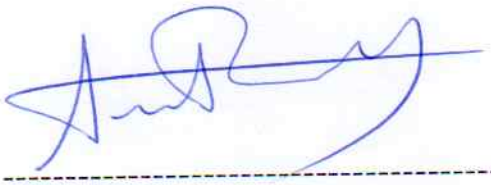
Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos

Guaranda – Ecuador

2025

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

REVISADO Y APROBADO POR:



Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos

TUTORA



Ing. Nelson Arturo Monar Gavilánez

DOCENTE LECTOR



Ing. David Rodrigo Silva García Mg.

DOCENTE LECTOR

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

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Morales Catagña Dany Alexander, con CI 1727485037, declaro que el contenido 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 del os derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Morales Catagña Dany Alexander

CI: 1727485037

AUTOR

Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos

CI: 0604084871

TUTORA

Notaría Tercera del Cantón Guaranda
Msc.Ab. Henry Rojas Narvaez
Notario

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

rio...

N° ESCRITURA 202502010003P00305

DECLARACION JURAMENTADA

OTORGADA POR: MORALES CATAGÑA DANY ALEXANDER

INDETERMINADA DI: 2 COPIAS H.R.

Factura: 001-005- 000003150

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día once de Febrero del dos mil veinticinco, **ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda,** comparece **MORALES CATAGÑA DANY ALEXANDER**, soltero de ocupación estudiante, domiciliado en el valle de los Chillos, ciudad de Quito, provincia de Pichincha y de paso por este lugar, con celular número (0982882707), su correo electrónico danmorales@mailes.ueb.edu.ec , por sus propios y personales derechos, obligarse a quien de conocer 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 instruidas por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertido de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presenta su declaración Bajo Juramento declara lo siguiente manifiesto que el criterio e ideas emitidas en el presente trabajo de investigación titulado ``**EFECTO DE LA INOCULACIÓN MULTIESPECIE CON *Bacillus* spp. Y MICORRIZAS FRENTE AL MANEJO RESTRICTIVO DE NUTRIENTES SOBRE LA SANIDAD Y EL RENDIMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.)** ``. Es de mi exclusiva responsabilidad en calidad de autor, previo a la obtención del título Ingeniero Agrónomo de la Facultad Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente en la Universidad Facultad Estatal de Bolívar, 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 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 les fue a las comparecientes por mí el Notario en unidad de acto, aquellos se ratifican y firman conmigo de todo lo cual doy Fe.

MORALES CATAGÑA DANY ALEXANDER

C.C. 1727485037

AB. HENRY ROJAS NARVAEZ

NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA

El Nota...

Dany Alexander Morales Catagña

PROYECTO DE TITULACIÓN DANY MORALES (1).pdf

David Silva

David Silva

Universidad Estatal de Bolivar

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:429021612

Fecha de entrega
11 feb 2025, 10:02 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
11 feb 2025, 10:10 a.m. GMT-5

Nombre de archivo
PROYECTO DE TITULACIÓN DANY MORALES (1).pdf

Tamaño de archivo
2.1 MB

89 Páginas

17,016 Palabras

96,245 Caracteres

Firma:

Revisado por: Dra. Andrea Román Ramos

Fecha: 11/02/25

7% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Trabajos entregados
- Fuentes de Internet

Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
7% 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: 11/02/25

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada con todo mi amor y gratitud a las personas más importantes en mi vida, que han sido mi apoyo incondicional en cada paso de este camino:

A mi padre, Segundo Efraín Morales Vilatuña, por ser el pilar de mi vida, por enseñarme con su ejemplo la importancia del esfuerzo, la responsabilidad y el sacrificio. Gracias por tu amor constante y por impulsarme a nunca rendirme.

A mi madre, María Orestila Catagña Morales, por ser mi fuente de cariño, sabiduría y fortaleza. Tu apoyo incondicional, tu paciencia y tus palabras de aliento han sido fundamentales para que este logro se hiciera realidad. Gracias por estar siempre a mi lado, en las buenas y en las malas.

A mi hermano, Jerson Xavier Morales Catagña, por ser mi compañero, mi confidente y mi amigo. Gracias por compartir cada momento de este proceso y por estar siempre dispuesto a ayudarme a seguir adelante.

A mis amigos Nathaly, Jesús, Roberto, Ibeth, Marco y Joel, por su amistad sincera, por sus consejos valiosos y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Gracias por su constante apoyo y por acompañarme en cada etapa de este recorrido, siempre motivándome a seguir mis sueños.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todas las personas que, con su apoyo y dedicación, hicieron posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, a la Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos, tutora, por su guía experta, paciencia y constante motivación a lo largo de todo el proceso. Su dedicación, conocimiento y aportes fueron claves para el desarrollo de este trabajo y para mi crecimiento académico.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Proyecto UEB-FIASA, al Ing. Eduardo, quien me brindó su invaluable apoyo y orientación, fundamentales para el desarrollo de este trabajo. También quiero agradecer a los técnicos que estuvieron presentes en cada momento, colaborando de manera constante y brindándonos sus explicaciones y conocimientos, siempre dispuestos a aclarar nuestras dudas.

A los Ing. Deysi Guanga, Ing. Nelson Monar y Ing. David Silva, por su valiosa colaboración como lectores de esta tesis. Sus observaciones, críticas constructivas y sugerencias enriquecieron significativamente la calidad de este trabajo. Su compromiso con la excelencia académica y su apoyo en cada etapa de este proyecto han sido invaluables.

Finalmente, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, amigos y compañeros, quienes han estado a mi lado en todo momento, brindándome apoyo emocional y motivación.

A todos ustedes, mi más sincero reconocimiento y gratitud.

ÍNDICE DE CONTENIDO

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 6

2.2 Clasificación botánica 6

2.3 Clasificación taxonómica 6

2.4 Valor nutricional 7

2.5 Características botánicas 7

2.5.1 Raíz 7

2.5.2 Tallo 8

2.5.3 Hojas 8

2.5.4 Inflorescencia 8

2.5.5 Semillas 8

2.6 Ciclo vegetativo del trigo 9

2.6.1 Germinación 9

2.6.2 Macollamiento 9

2.6.3 Encañado 10

2.6.4 Espigado 10

2.6.5 Maduración 10

2.7 Requerimientos edafoclimáticos 10

2.7.1 Temperatura 10

2.7.2 Luminosidad 11

2.7.3 Precipitación 11

2.7.4 Humedad relativa 11

2.7.5 Suelos 11
2.7.6 pH 11
2.7.7 Drenaje 12
2.7.8 Requerimientos nutricionales 12
2.7.9 Características del trigo harinero *(Triticum aestivum* L.*)* 12
2.8 Manejo del cultivo 12
2.8.1 Preparación de terreno 12
2.8.2 Siembra 13
2.8.3 Fertilización 13
2.8.4 Control de malezas 15
2.8.5 Cosecha 15
2.8.6 Trilla 16
2.8.7 Parámetros de Calidad 16
2.9 Plagas 16
2.9.1 Áfidos *(Schizaphis graminum* y *Diuraphis noxia)* 16
2.9.2 Chinches apestosas *(Halyomorpha halys)* 17
2.9.3 Gusanos soldados *(Mythimna unipuncta)* 17
2.9.4 Oruga cortadora *(Spodoptera frugiperda)* 18
2.9.5 Gallina ciega *(Phyllophaga* spp.*)* 18
2.10 Enfermedades 20
2.10.1 Roya lineal o amarilla *(Puccinia striiformis)* 20
2.10.2 Septoriosis *(Zymoseptoria tritici)* 21
2.10.3 Rincosporiosis *(Rhynchosporium secalis)* 22
2.10.4 Carbones comunes *(Tilletia caries, T. foetida, T. controversa)* 23
2.10.5 Mildiú polvoriento *(Erysiphe graminis)* 25
2.10.6 Fusariosis causadas por *Fusarium* spp. 26
2.11 Uso de microorganismos en la agricultura 28
2.11.1 Micorrizas 28
2.11.2 *Bacillus* spp. 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 de la investigación 33
3.2.6 Métodos de evaluación (variables respuesta) 36
3.2.7 Análisis de datos 39
CAPÍTULO IV 40
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 40
4.1.1 Análisis de variables agronómicas 40
4.1.2 Análisis de variables sanitarias 42
4.1.3 Análisis de variables de rendimiento 45
4.1.4 Análisis económico 48
4.2 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS 53
CAPÍTULO V 54
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 54
5.1 CONCLUSIONES 54
5.2 RECOMENDACIONES 56
BIBLIOGRAFÍA 57
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pag.
1	Resultados del análisis de varianza del Porcentaje de Emergencia (PE), Numero de macollos (NM), Densidad radicular (DR), Altura de planta (AP).	40
2	Resultados del análisis de varianza de Severidad de Manchas Foliares (SEVMa), Severidad de Roya Amarilla (SEVRo), Severidad de Fusarium (SEVFu).	42
3	Resultados del análisis de varianza de Rendimiento (REN), Peso de Mil Granos (PMG), Peso Hectolítrico (PH).	45
4	Presupuesto parcial para los tratamientos en estudio.	48
5	Análisis de dominancia para los tratamientos en estudio.	49
6	Tasa de retorno marginal en el efecto de la inoculación multiespecie con Bacillus spp. y micorrizas frente al manejo restrictivo de nutrientes sobre la sanidad y el rendimiento en trigo.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Detalle	Pag.
1	Medias para la Densidad Radicular (DR) de la combinación multiespecie de *Bacillus* spp. + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes de los tratamientos.	41
2	Medias para la Severidad de Manchas Foliares (SEVMa) de la combinación multiespecie de *Bacillus* spp. + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes de los tratamientos.	43
3	Medias para la Severidad de Roya Amarilla (SEVRo) de la combinación multiespecie de *Bacillus* spp. + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes de los tratamientos.	44
4	Medias para Rendimiento (REN) de la combinación multiespecie de *Bacillus* spp. + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes de los tratamientos.	46

ÍNDICE DE ANEXOS

N°	Detalle
1	Mapa de ubicación de la investigación
2	Croquis del ensayo
3	Resultados de Análisis fisicoquímicos
4	Base de datos
5	Fotografías
6	Glosario de términos técnicos

RESUMEN

El trigo *(Triticum aestivum* L.*)* es uno de los cereales más cultivados a nivel mundial, esencial para la alimentación humana debido a su contenido de carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales. Ante los altos costos de insumos como fertilizantes, se ha investigado la utilización de microorganismos beneficiosos que favorecen la absorción de nutrientes y protegen las plantas contra enfermedades, como micorrizas o bacterias *Bacillus* spp., mejorando el rendimiento del cultivo de trigo. Por lo que, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la inoculación con multiespecie *Bacillus* spp. y micorrizas frente al manejo restrictivo de nutrientes sobre la sanidad y el rendimiento en trigo. Los resultados mostraron que las variables, densidad radicular (DR), altura de planta (AP), severidad de enfermedades (SEV) y rendimiento (REN) fueron significativas $p < 0.05$. La menor severidad de manchas fue observada en los tratamientos inoculados 75 al 100%. Sin embargo, la roya se vio favorecida por la mayor disponibilidad de nutrientes que en los tratamientos con o sin inoculación. La aplicación del 75 al 100% del requerimiento nutricional mostro un incremento del 60-75% con el testigo sin fertilización. La combinación de microorganismos como *Bacillus* spp. y micorrizas, fue menos rentable económicamente, demostró potencial en la mejora de la sanidad de las plantas. Aunque los resultados sugieren que una nutrición adecuada tiene un impacto más significativo en el desarrollo del trigo y en el manejo de enfermedades, la inoculación de microorganismos puede ser útil como alternativa al manejo convencional.

Palabras clave: Inoculación, Bacterias, Micorrizas, Severidad

SUMMARY

Wheat *(Triticum aestivum* L.*)* is one of the most cultivated cereals worldwide, essential for human nutrition due to its carbohydrate, fiber, vitamin and mineral content. Due to the high costs of inputs such as fertilizers, the use of beneficial microorganisms that favor nutrient absorption and protect plants against diseases, such as mycorrhizae or *Bacillus* spp. bacteria, has been investigated, improving wheat crop yield. Therefore, the objective of this research was to determine the effect of inoculation with multispecies *Bacillus* spp. and mycorrhizae versus restrictive nutrient management on wheat health and yield. The results showed that the variables, root density (RD), plant height (PA), disease severity (SEV) and yield (REN) were significant $p < 0.05$. The lowest severity of spots was observed in the treatments inoculated 75 to 100%. However, rust was favored by higher nutrient availability than in treatments with or without inoculation. The application of 75 to 100% of the nutrient requirement showed an increase of 60-75% with the control without fertilization. The combination of microorganisms such as *Bacillus* spp. and mycorrhizae, which was less economically profitable, showed potential in improving plant health. Although the results suggest that proper nutrition has a more significant impact on wheat development and disease management, inoculation with microorganisms may be useful as an alternative to conventional management.

Keywords: Inoculation, Bacteria, Mycorrhizae, Severity.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El trigo *(Triticum aestivum* L.*)* es uno de los tres cereales más demandados en todo el mundo, siendo usado principalmente como harina en la industria para la elaboración de varios productos de consumo como: pan, pastas, fideos galletas, pasteles y balanceados. Algunos de estos productos son de consumo masivo, debido a su alto contenido de carbohidratos. Este alimento es rico en fibras, calorías, vitamina B y E, así como también en una gran cantidad de minerales (Vignette, 2019).

El cultivo del trigo se siembra alrededor del mundo, siendo el cereal de mayor superficie (FAO, 2019). En promedio en los últimos 10 años, 220 millones de hectáreas han sido cultivadas, con una producción aproximada de 711 millones de toneladas. Dentro de los principales países productores tenemos a: la Unión Europea, China, India, Federación Rusa, Estados Unidos, Ucrania, Australia, Pakistán, Canadá, Argentina, Turquía (Cordero, 2019). Sin embargo, China es considerado como uno de los países de mayor producción de trigo con un promedio anual de 130 a 145 millones de toneladas. China, India, Rusia y Estados Unidos, han contribuido con aproximadamente con el 65 % de la producción mundial en el ciclo 2020/2021 (MAG, 2023).

En el Ecuador, Carchi concentra el 55% de la producción nacional, seguido de Bolívar (18%) y Pichincha (17%). En la provincia de Carchi se han cultivado 2976 ha, seguido de Chimborazo con 1631 ha y Bolívar con 1119 ha. Durante el año 2021, la superficie cosechada de trigo fue de 6038 ha, abarcando una producción de 10898 Tn. En la provincia de Bolívar el trigo forma parte de los sistemas de producción de los pequeños y medianos productores, principalmente en rotación después del maíz asociado con fréjol. Se cultivan entre los 2200 y 2950 msnm, con rendimientos promedios anuales de 1000 kg ha^{-1} (Kaviedes, 2019). Sin embargo, el Ecuador importa el 90% del trigo que se consume en el país, ya que se utiliza para

la elaboración de harina, producto de consumo masivo a nivel nacional (Yara, 2023).

Para el mejoramiento del rendimiento de este cultivo, se ha implementado la utilización de microorganismos para el control de patógenos que, además, ayudan en una mejor absorción de nutrientes por ejemplo micorrizas. En el caso de micorriza se sabe que la asociación simbiótica entre un hongo (micelio) y la raíz de una planta se benefician el uno del otro, debido a que el hongo es el encargado de absorber el agua y los nutrientes de la tierra y proteger las raíces de ciertas enfermedades, la cual es de gran beneficio para ambos (Cerisola, 2020).

La inoculación de semillas de trigo con micorrizas puede tener varios beneficios para el crecimiento y la salud de las plantas. Las micorrizas son asociaciones simbióticas entre hongos y las raíces de las plantas, donde el hongo proporciona nutrientes y agua a la planta, mientras que la planta proporciona carbohidratos al hongo. Esta simbiosis puede mejorar la absorción de nutrientes, aumentar la resistencia a enfermedades y mejorar la tolerancia al estrés abiótico. Además, la inoculación de semillas de trigo con micorrizas puede aumentar la absorción de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, lo que resulta en un crecimiento y desarrollo más saludables de las plantas (Filho, Sobrinho, & Pascholati, 2017).

Las rizobacterias del género *Bacillus* spp., son muy abundantes en la rizosfera, y se han utilizado como modelo de estudio para comprender algunos procesos metabólicos, como producir compuestos orgánicos, solubilizar fosfatos y realizar la fijación biológica de nitrógeno. Poseen una amplia diversidad genética favoreciendo su adaptación a diferentes condiciones ambientales (Rodriguez, 2020).

Por este motivo la inoculación multiespecie mejoran la salud y el rendimiento de las plantas de trigo. Las micorrizas pueden aumentar la absorción de nutrientes del suelo, mientras que las bacterias del género *Bacillus* spp. pueden proporcionar nutrientes adicionales y protección contra patógenos del suelo (Rashid, 2015).

1.2 PROBLEMA

Hasta el momento, la tecnificación de las prácticas agrícolas ha logrado aumentar la producción de alimentos en el mundo, aunque esto ha estado acompañado por la provisión de agroquímicos, fertilizantes, semillas hibridas, etc. El incremento de enfermedades en cultivos agrícolas es una preocupación para agricultores, así como para la seguridad alimentaria, ya que reducen notablemente el rendimiento y calidad de los productos.

La resistencia creciente de patógenos a productos químicos tradicionales conduce a un uso excesivo de pesticidas y fungicidas, perjudiciales para el medio ambiente y salud humana. Las enfermedades de plantas y restricción en la disponibilidad de nutrientes en el suelo plantean un desafío importante, ya que los patógenos del suelo, como hongos y bacterias, debilitan el sistema radicular de las plantas, dificultando la absorción de nutrientes esenciales y también las condiciones de suelo degradadas o desequilibradas pueden limitar la disponibilidad de nutrientes clave como nitrógeno, fósforo y potasio, necesarios para el crecimiento saludable de las plantas.

En el Ecuador, el cultivo de trigo es una alternativa en zonas de producción. En los últimos años el incremento de requerimientos de fertilizantes y los altos costos han encarecido el manejo de los cultivos. La fertilización es una necesidad en los cultivos de cereales para mejorar sus rendimientos. Sin embargo, para mejorar la extracción de nutrientes la utilización de microorganismos ha demostrado ser una alternativa para los cereales. En nuestro país aún no se han incorporado este tipo de inoculantes en los cultivos de cereales de forma masiva, además, que no se conoce la forma de aplicación en semillas de trigo, las interacciones con las plantas y su efecto sobre las enfermedades, relacionada a una extracción adecuada de nutrientes. Siendo importante que en medida de lo posible este tipo de tecnología pueda ser incorporada en los campos de producción de cereales.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la inoculación con multiespecie *Bacillus* spp. y micorrizas frente al manejo restrictivo de nutrientes sobre la sanidad y el rendimiento en trigo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la capacidad de los inoculantes multiespecie para colonizar las plantas de trigo harinero.

- Comparar el efecto del uso de una inoculación multiespecie frente a la restricción de nutrientes sobre la severidad de enfermedades fúngicas en trigo harinero.

- Estimar el retorno económico de las inversiones en los tratamientos en estudio a partir de un análisis de dominancia.

1.4 HIPÓTESIS

H_0:

La inoculación multiespecie con *Bacillus* spp. y micorrizas en semillas de trigo y la restricción de nutrientes no incide positivamente sobre el estado sanitario y el rendimiento.

H_1:

La inoculación multiespecie con *Bacillus* spp. y micorrizas en semillas de trigo y la restricción de nutrientes incide positivamente sobre el estado sanitario y el rendimiento.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Origen

El trigo es una planta de origen milenario, en la antigua civilización de Mesopotamia. Los registros arqueológicos de cultivos de dicho cereal han sido encontrados en Siria, Jordania, Turquía, Israel e Irak. Se cree que hace ocho mil años, en el trigo silvestre ocurrió una mutación o hibridación, que ocasionó que se transformara en una planta tetraploide con un fruto más voluminoso, impidiendo de esta manera que el mismo se esparciera con la acción del viento (Bayón, 2023). No es hasta el siglo XVII que se logra evidenciar algún progreso en la tecnificación del cultivo y procesamiento de este cereal.

En el siglo XIX este cultivo se expandió a América y Oceanía al igual que el motor a vapor, del que surgió el molino a base de esta energía (Toño, 2023).

2.2 Clasificación botánica

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas (Poaceae), siendo las variedades más cultivadas *(Triticum durum)* y *(T. compactum)*. El trigo harinero llamado *(T. aestivum)* es el cereal panificable más cultivado en el mundo (Martínez, 2019).

2.3 Clasificación taxonómica

Chamorro (2018), señala que la clasificación botánica del trigo es la siguiente:

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Pooideae
Orden:	Poales
Género:	*Triticum*

Especie: *aestivum*

Nombre científico: *Triticum aestivum* L.

Nombre común: Trigo harinero

(Lyndad, 2018).

2.4 Valor nutricional

El trigo es un tipo de cereal fuente de hidratos de carbono complejos y con una buena proporción de proteínas de origen vegetal (aproximadamente un 12%). Contiene una gran variedad de vitaminas y minerales: vitamina B, hierro, magnesio, fósforo y zinc (Vega, 2020).

Composición	**Cantidad**
Calorías	340-360 kcal
Proteína	10.3 g
Grasa total	1 g
Hidratos de carbono	73.6 g
Fibra	2.7 g
Calcio	15 mg
Hierro	1.2 mg
Magnesio	22 mg
Fosforo	108 mg
Potasio	107 mg
Sodio	2 mg
Zinc	0.7 mg

Composición química del trigo por cada 100 gramos de porción comestible.

2.5 Características botánicas

2.5.1 Raíz

El trigo tiene raíces fasciculadas, que pueden llegar a medir hasta un metro, y en suelos sueltos hasta 1.50 m (Santana, 2021).

2.5.2 Tallo

Al comienzo de la fase vegetativa, el tallo se halla dentro de una masa celular que constituye el nudo de ahijamiento. Este tallo presenta brotes axilares, de los que se originan los tallos hijos. El tallo se alarga durante el encañado y lleva 7 u 8 hojas envainadoras a lo largo de la longitud de un entrenudo. En casi todas las variedades, el tallo, que es al principio macizo, se vuelve después hueco, salvo en los nudos donde permanece macizo (Allende, 2023).

2.5.3 Hojas

Las hojas son cintiformes, paralelinervias y terminadas en punta. Se implantan en los nudos del tallo con filotaxia (disposición que presentan las hojas en el tallo) dística en dos filas alternas. Constan de vaina y limbo, prácticamente no tienen peciolo. Es el órgano de la planta donde se realiza fotosíntesis con mayor intensidad debido a la gran cantidad de cloroplastos en el tejido parenquimático (Carrera, 2018).

2.5.4 Inflorescencia

Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados. Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores (Troiani et al., 2017).

2.5.5 Semillas

El fruto del trigo es un grano cariópside (fruto seco indehiscente cuya semilla está fuertemente adherido al pericarpio). En el grano se considera la base o sea el extremo donde va a alojar el germen, el vértice extremo opuesto donde se presenta la vellosidad, el dorso o lado convexo donde se ve el germen, la ranura o cara ventral a los bordes o pliegues de la cara ventral (Perisse, 2022).

2.6 Ciclo vegetativo del trigo

En el ciclo vegetativo del trigo se distinguen tres períodos:

Período vegetativo, que comprende desde la siembra hasta el comienzo del encañado, período de reproducción, desde el encañado hasta la terminación del espigado y período de maduración, que comprende desde el final del espigado hasta el momento de la recolección (Paredes et al., 2018).

2.6.1 Germinación

Una vez que la semilla gemina se observa la formación del coleóptilo sirve de protección a la plúmula al tener que perforar ésta la capa superficial del suelo. En el momento que ha alcanzado la superficie, la primera hoja perfora el coleóptilo, que comienza a amarillear y a desecarse. Luego se observa la formación de raíces primarias, de esta forma la planta puede alimentarse por sí misma de las soluciones del suelo, cuando se agoten las reservas del grano. La temperatura óptima de germinación es de 20-25 ºC. Y la viabilidad de la semilla de trigo se mantiene durante un período de 4 a 10 años, aunque prácticamente la duración del período de utilización no debe sobrepasar los dos años, ya que, a medida que pasa el tiempo, disminuye la capacidad germinativa (Courtis, 2023).

2.6.2 Macollamiento

Ocurre durante la formación de la cuarta hoja y el nudo de ahijamiento se engrosa. Esto se puede considerar como si estuvieran 4 o 5 nudos juntos, a cada uno de los cuales corresponde una hoja. En la axila de cada una de esas hojas surge una yema axilar que da nacimiento a un tallo secundario. Posteriormente, las raíces secundarias rompen la base del nudo de ahijamiento y éste se alarga. A medida que las raíces secundarias se desarrollan, dejan de crecer las primarias y toman una coloración parda. El poder de ahijamiento es un carácter varietal, pero, a parte de la variedad, depende de la importancia del abonado nitrogenado, de la fecha de siembra y de la temperatura, que condiciona la duración del período (Anchayhua, 2019).

2.6.3 Encañado

Cuando se llega a la fase de encañado, un determinado número de tallos herbáceos se transforma en tallos rematados por espigas, mientras que otros se retrasan en su crecimiento, se detienen e incluso pueden llegar a retroceder en el mismo. En el momento del encañado el crecimiento requiere unas necesidades elevadas de elementos fertilizantes y, particularmente, en nitrógeno, necesario para la formación de las nucleoproteínas de los núcleos de las células jóvenes. Por esta necesidad de elementos fertilizantes, y sobre todo de nitrógeno, se le denomina a éste, segundo período crítico (Bútron, 2022).

2.6.4 Espigado

El crecimiento de las plantas en la fase de espigado es máximo. Se estima que las plantas elaboran las ¾ partes de su materia seca total entre el macollamiento y la floración (Cubero, 2021).

2.6.5 Maduración

El período de maduración es la última fase del período vegetativo y corresponde a la acumulación de almidón en el grano. Por otra parte, se produce un movimiento de los glúcidos y de las proteínas hacia la espiga. Cuando la planta entra en estrés hídrico la falta de disponibilidad de agua perjudica el traslado de glúcidos y proteínas produciendo granos arrugados (Basantes, 2019).

2.7 Requerimientos edafoclimáticos

2.7.1 Temperatura

El cultivo de trigo puede desarrollarse desde temperaturas de 4 a 32 °C. Existen trigos de invierno y trigos de primavera los cuales tienen una exigencia diferente de temperatura. Por ejemplo, el trigo de invierno permanece latente durante los periodos fríos en su fase vegetativa temprana y necesita que las temperaturas desciendan al menos hasta 4°C (Miller, 2001). En cambio, el trigo de primavera, por su parte, exige una temperatura de 21-24°C. En general mantener la temperatura

es crucial en desarrollo del cultivo, ya que germinación de la semilla por debajo del límite inferior y las temperaturas de maduración por encima del límite superior se asocian ambas con un rendimiento reducido (Cherlinka, 2023).

2.7.2 Luminosidad

El cultivo de trigo requiere de mucha luz solar, al menos 8 horas diarias. Por este motivo, es importante que el lugar seleccionado para su siembra sea un espacio abierto donde pueda recibir los rayos del sol sin problema (Castillo, 2021).

2.7.3 Precipitación

El cultivo puede requerir 250 mm de precipitación. Para una producción óptima humedad debe ser adecuada para que el sistema se desarrolle. Se considera que el consumo máximo es de 8 mm por día durante el desarrollo del grano, aunque es muy tolerante al estrés hídrico (Zheng, 2018).

2.7.4 Humedad relativa

La humedad relativa de 50% a 60%, desde el momento de espigamiento o estiramiento vertical hasta que se cosecha es esencial para el cultivo. Mientras que la etapa de maduración exige un clima seco (Castillo, 2021).

2.7.5 Suelos

El trigo requiere suelos de textura mediana a pesada, franco-limoso o franco-arcillosos, aunque también se desarrolla bien en suelos franco-arenosos-arcillosos. Para producir buena cosecha requiere suelos fértiles, con adecuada cantidad de nitrógeno (Alonso, 2023).

2.7.6 pH

El cultivo de trigo requiere de suelos sueltos, libres de malezas, con buen drenaje y con un pH de entre 5.5 y 7. El cultivo no soporta los terrenos arenosos o turbosos con acidez elevada (Lanus, 2020).

2.7.7 Drenaje

Problemas de drenaje, suelos poco profundos o compactados disminuyen tanto el rendimiento como la calidad del trigo (Ponce & Garófalo, 2021).

2.7.8 Requerimientos nutricionales

Primero es necesario realizar el análisis de suelo previo a la siembra, con la finalidad de realizar una correcta fertilización, de no contar con este análisis, se recomienda aplicar en forma general 3 sacos de 50 kg ha^{-1} de 18-46-0 a la siembra y 1-2 sacos de urea (Velásquez & Jimenez, 2022).

2.7.9 Características del trigo harinero *(Triticum aestivum* L.*)*

De acuerdo con Ledesma & Ramírez (2012) existen variedades de trigo harinero recomendados para el Bajío que presentaron buen potencial de rendimiento en condiciones de riego normal y limitado, lo cual se debe en parte a que en etapas segregantes del proceso de mejoramiento genético se seleccionaron con base en su rendimiento bajo riego limitado. Por ello, un paso importante es la identificación de los componentes de dicha variabilidad y evaluar la respuesta fisiológica y agronómica de las plantas ante condiciones limitantes de humedad para identificar genotipos que muestren tolerancia.

2.8 Manejo del cultivo

2.8.1 Preparación de terreno

El trigo requiere un terreno asentado, mullido, limpio de malas hierbas y bien desmenuzado. La naturaleza de las labores, el modo de ejecutarlas y la época oportuna para su realización, varía con el cultivo que precedió al trigo, con la naturaleza del suelo y con el clima. Las labores deben realizarse con anticipación (dos meses antes de la siembra), solo así podremos garantizar que exista una adecuada descomposición de residuos, malezas, abonos, orgánicos a incorporarse al lote. Una buena reacomodación del suelo del terreno podría consistir en un pase de arado y dos pases de rastra (Mandangon, 2019).

2.8.2 Siembra

La profundidad de siembra de 3-6 cm, si la siembra es mecanizada en general 17 cm sirven de separación entre hileras. La densidad de siembra bajo estas condiciones puede ser de 300-400 semillas por m^2 (de 100 a 130 kilos semillas por ha), con un mínimo de 80% de poder germinativo. En el caso de siembra mecanizada puede haber un ahorro de semilla entre el 30-50%, uniformidad en la distribución de los surcos, establecimiento de la profundidad de siembra según las necesidades, permite el laboreo entre líneas (Salazar, 2018).

2.8.3 Fertilización

La fertilización en trigo es clave no solo para el aumento de los rendimientos, sino también para mejorar su calidad industrial y comercial. Es el cultivo extensivo más indicativo de las deficiencias de fertilidad de los suelos y del que se posee más tradición y experiencia sobre el tema (Berardo, 2019).

- **Nitrato de calcio**

La dosis de aplicación de nitrato de calcio puede variar dependiendo de varios factores, como las condiciones del suelo, las necesidades específicas del cultivo y las recomendaciones locales. Sin embargo, una dosis típica de aplicación de nitrato de calcio para el cultivo de trigo puede oscilar entre 100 a 200 kg ha^{-1}.

El nitrato de calcio puede influir positivamente en el cultivo de trigo de varias maneras como aporte de calcio y nitrógeno, ya que el calcio es un nutriente esencial para el desarrollo de las paredes celulares, la división celular y la estructura de la planta. Además, el nitrógeno en forma de nitrato es una fuente de nutrición altamente soluble y disponible para el crecimiento vegetativo y la formación de grano del trigo (Graham, 2018).

- **Urea**

La dosis de aplicación de urea en el cultivo de trigo puede variar según varios factores, como las condiciones del suelo, la variedad de trigo, las prácticas

agronómicas locales y los objetivos de rendimiento. Sin embargo, una dosis comúnmente recomendada es de aproximadamente 100 a 150 kg ha^{-1} durante la fase de crecimiento vegetativo.

La fertilización con urea puede aumentar el rendimiento de los cultivos de trigo al proporcionar un suministro adecuado de nitrógeno, que es esencial para la producción de biomasa y la formación de granos. Un suministro adecuado de nitrógeno puede resultar en plantas más grandes, con más tallos y granos más grandes, lo que a su vez puede traducirse en un mayor rendimiento (Zhang et al., 2023).

- **Fosfato monopotásico**

La dosis de aplicación de fosfato monopotásico (KH_2PO_4) en el cultivo de trigo puede variar según diversos factores, como las condiciones del suelo, las necesidades específicas del cultivo y las recomendaciones agronómicas locales. Sin embargo, una dosis comúnmente utilizada puede oscilar entre 50 a 100 kg ha^{-1}. El fosfato monopotásico es una fuente de fósforo y potasio utilizada en la fertilización de cultivos, incluido el trigo y ayuda de la resistencia al estrés ya que el fósforo desempeña un papel crucial en la capacidad de las plantas para resistir el estrés biótico y abiótico. El suministro adecuado de fósforo a través del fosfato monopotásico puede mejorar la capacidad del trigo para resistir enfermedades, sequías, heladas y otros factores de estrés ambiental, lo que resulta en un cultivo más robusto y resistente (Alsulaiman & Al-Ansari, 2023).

- **Nitrato de potasio**

El nitrato de potasio en el cultivo de trigo puede variar según diversos factores, como las condiciones del suelo, las necesidades específicas del cultivo y las recomendaciones agronómicas locales. Sin embargo, una dosis comúnmente utilizada puede oscilar entre 50 a 150 kg ha^{-1}. El nitrato de potasio es una fuente de nitrógeno y potasio utilizada en la fertilización de cultivos, incluido el trigo.

En el cultivo de trigo puede ser mejorar el crecimiento y desarrollo, ya que el suministro adecuado de nitrógeno y potasio a través del nitrato de potasio puede promover un crecimiento vigoroso y saludable de las plantas de trigo. Esto puede resultar en plantas más grandes, con más tallos y un mayor número de granos, lo que a su vez puede aumentar el rendimiento del trigo (Liang et al. 2020).

- **Nitrato de magnesio**

La aplicación de nitrato de magnesio en el cultivo de trigo puede variar dependiendo de varios factores, como las condiciones del suelo, las necesidades específicas del cultivo y las recomendaciones agronómicas locales. Sin embargo, una dosis típica de aplicación de nitrato de magnesio para el cultivo de trigo puede oscilar entre 50 a 100 kg ha^{-1}. El nitrato de magnesio es una fuente de nitrógeno y magnesio utilizada en la fertilización de cultivos, incluido el trigo.

Su influencia en el cultivo de trigo puede ser significativa ya que el suministro adecuado de nitrógeno y magnesio a través del nitrato de magnesio puede promover un crecimiento saludable y vigoroso de las plantas de trigo. El magnesio es esencial para la producción de clorofila y la captación de luz solar, lo que puede aumentar la capacidad de las plantas para realizar la fotosíntesis y producir biomasa (Mehrad et al. 2016).

2.8.4 Control de malezas

Para el control de malezas de hoja ancha (nabo, rábano, lengua de vaca, llantén) se recomienda utilizar el herbicida metsulfurón metil en la dosis de 15 g ha^{-1} (Gacetilla, 2020).

2.8.5 Cosecha

El trigo se cosecha con la hoz o con una cosechadora. Es necesario que los granos recolectan íntegros, así como reducir el menor porcentaje de pérdidas. En la actualidad, en los sistemas de producción agrícola se suele usar maquinaria automotriz para este proceso. Mientras que, en los predios pequeños, se utiliza

todavía el método manual, el cual presenta un porcentaje alto de pérdidas durante el desgrane (Jacto, 2023).

2.8.6 Trilla

Generalmente la trilla del grano se realiza con una trilladora estacionaria. Además, se la puede realizar de forma manual o mecánica (Grolleaud, 2023).

2.8.7 Parámetros de Calidad

Los parámetros ideales de calidad de grano se han obtenido de la comparación con los requeridos por las industrias molineras nacionales (13% de humedad, 2% de impurezas y 74 kg L^{-1} de peso hectolítrico) (Garófalo, 2023).

2.9 Plagas

2.9.1 Áfidos *(Schizaphis graminum* y *Diuraphis noxia)*

Los áfidos 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 "roció de miel" que puede causar diminutas manchas chamuscadas en las hojas y favorece el desarrollo de mohos negros. Al alimentarse, *S. graminum* causa estragos, pues provoca la aparición de zonas necróticas acompañadas a veces de una coloración púrpura y el enrollamiento de las hojas infestadas, en tanto que *D. noxia* produce largas estrías blancas en las hojas, enrollamiento, tendencia al crecimiento postrado y espigas estériles (Lezaun, 2018).

- **Manejo de la plaga**

Los áfidos son insectos chupadores que se alimentan de la savia de las plantas, debilitando así el cultivo y reduciendo el rendimiento el momento óptimo para aplicar insecticidas varía dependiendo de factores como el tipo de áfido, la presión de la plaga, las condiciones climáticas y el desarrollo del cultivo. Las aplicaciones tempranas suelen ser más efectivas para evitar daños significativos. Los insecticidas

con nombre comercial aphox o pirimor se aplican a una dosis de 0.25-0.5 kg ha^{-1}, diluido en agua y aplicado por aspersión foliar (Cuellar, 2022).

2.9.2 Chinches apestosas *(Halyomorpha halys)*

Las chinches apestosas adultas se alimentan del tejido de los tallos o de los granos en desarrollo. La saliva de este insecto es tóxica para la planta y una sola perforación que el insecto haga para alimentarse puede provocar la muerte del tallo. Si el insecto se alimenta de los granos durante el estadio masoso lechoso, éstos resultan destruidos; cuando lo hace durante estadios posteriores del desarrollo, los granos se arrugan considerablemente. Cuando el insecto se alimenta de la espiga en desarrollo se puede producir esterilidad parcial o total. Las chinches apestosas adultas tienen el cuerpo en forma de escudo y despiden un olor desagradable cuando se les aplasta (Loele, 2017).

- **Manejo de la plaga**

Aplicaciones de insecticida en los bordes, con 150 a 200 metros de ancho durante la fase vegetativa, ayudan a controlar las chinches migrantes, sobre todo en cultivares tardíos, lo cual evita daños severos en las plantaciones, además, la rotación de cultivos también ayuda. Sin embargo, es preciso adoptar prácticas de manejo integral, donde se mezclen herramientas de control químico, mecánico y biológico tendientes a minimizar el impacto ambiental derivado de la aplicación de insecticidas (Gómez, 2022).

2.9.3 Gusanos soldados *(Mythimna unipuncta)*

Las larvas se alimentan de las hojas y mastican desde los bordes hasta la nervadura central; también se alimentan de las espigas de los cereales. El principal síntoma es la defoliación de la planta. Las infestaciones grandes pueden ser muy destructivas; las larvas trepan por la planta y cortan el cuello debajo de la espiga. Se pueden encontrar especies que se alimentan sobre la superficie del suelo, otras que comen las raíces bajo tierra y otras que se alimentan dentro del tallo (Lezaun, 2018).

- **Manejo de la plaga**

Hay daños muy importantes en hojas y tallo en el trigo, las larvas ya medianas tienen muy alta ingesta, hay una gran cantidad de "aserrín", excrementos que actúan como tapón, debajo del cual se ubican las larvas. Para el manejo del gusano cogollero es el insecticida clorpirifos. La dosis de aplicación puede variar según el producto específico y las recomendaciones del fabricante, pero típicamente se aplica en dosis de 1 a 2 L ha^{-1}, dependiendo del grado de infestación y las condiciones locales (Lesaun, 2020).

2.9.4 Oruga cortadora *(Spodoptera frugiperda)*

Afecta plántulas o plantas pequeñas, se alimenta de las hojas centrales o de la zona del cuello, son frecuentes cuando se tiene temperaturas elevadas. Aparecen desde la etapa de macollaje hasta el espigamiento (Gacetila, 2020).

- **Manejo de la plaga**

Para ello se deberán utilizar cura semillas con fipronil o tiodicarb. Así también, se debe considerar realizar un monitoreo, aplicar el insecticida como lufenuron cuando se observen raspado de hojas, mientras que tiodicarb y lambdacialotrina, al notarse la presencia de orugas grandes en dosis de 600 L ha^{-1} (Abente, 2020).

2.9.5 Gallina ciega *(Phyllophaga* spp.*)*

Es una plaga importante en el trigo en siembra directa. Se alimenta de raíces y tallos de trigo, avena, pasturas, etc. La hembra construye el nido, donde lleva rastrojos para colocar sus huevos por encima afectando directamente a las raíces del cultivo ya establecido (Gacetila, 2020).

- **Manejo de la plaga**

Una de las estrategias preventivas dentro del control químico es el tratamiento de la semilla con productos insecticidas, sobre todo en zonas de alta incidencia de la plaga. Esta práctica evita también el ataque de otras plagas, lo cual hace que sea

una medida preventiva casi obligatoria en los cultivos. Esta protección en la semilla tiene una duración aproximada de 15 a 20 días. La acción de esta medida es complementada con la aplicación de insecticidas granulados aplicados al suelo. Entre los insecticidas que se utilizan en México para el control de esta plaga están: carbofuran, terbufos, teflutrina, clorpirifos e imidacloprid. La aplicación de los insecticidas granulados se realiza al momento de la siembra a un lado de la semilla. Además, el riego ayuda a que los insecticidas granulados puedan llegar a las profundidades donde se encuentran las larvas de gallina ciega. Por otro lado, Imidacloprid es muy soluble, lo que permite su aplicación a través del sistema de riego en dosis de 400 L ha^{-1} de agua (Jardón, 2018).

2.10 Enfermedades

2.10.1 Roya lineal o amarilla *(Puccinia striiformis)*

Taxonomía

Phylum: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Género: *Puccinia*

Especie: *striiformis*

Nombre científico: *Puccinia striiformis*

Esta enfermedad es importante ya que las infecciones graves pueden causar una disminución del rendimiento, principalmente al reducir el número de granos por espiga, el peso hectolítrico y la calidad de los granos (Lerenius, 2019).

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

Los síntomas de la roya aparecen primeramente en las hojas basales. Se observan masas de urediniosporas de color amarillo a naranja que emergen de pústulas dispuestas en líneas largas y estrechas en las hojas (generalmente entre las nervaduras), vainas de las hojas, glumas y aristas, en plantas susceptibles. Las pústulas (uredios) son de color amarillo limón. Las plantas afectadas producen granos chupados. Cuando el ataque es muy intenso produce la rotura de la lámina foliar, hacia el final del ciclo aparecen las pústulas negras (Byamukama, 2018).

- **Condiciones predisponentes**

El proceso de infección requiere condiciones climáticas particulares, siendo favorables para su desarrollo temperaturas de 15 a 22 °C, con una óptima de 20 °C y un período de humedad de hoja o rocío no menor a 6 horas. El patógeno puede completar su ciclo de infección a formación de nuevas pústulas en períodos

relativamente cortos (8 a 10 días), por lo que su desarrollo epidémico se hace exponencial en forma rápida (Byamukama, 2018).

- **Manejo de la enfermedad**

La resistencia genética sigue siendo la principal estrategia para manejar la roya amarilla del trigo. Sin embargo, para variedades susceptibles, el control químico es la única herramienta disponible para frenar las epidemias. Los tratamientos de semilla con fungicidas sistémicos, como los Inhibidores de la desmetilación (IDM) como triazoles, por ejemplo, triticonazole, fluquinconazole, y flutriafol pueden ofrecer una protección de hasta 30 a 40 días, especialmente en ataques tempranos de la enfermedad (Byamukama, 2018).

2.10.2 Septoriosis *(Zymoseptoria tritici)*

Taxonomía

Phylum: Ascomycota

Clase: Dothideomycetes.

Género: *Zymoseptoria*

Especie: *tritici*

Nombre científico: *Zymoseptoria tritici*

Es una de las enfermedades del trigo más importantes y que puede llegar a suponer unas pérdidas de más del 50% del cultivo (Bernasconi et al. 2023).

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

En el cultivo de trigo se pueden ver pequeñas manchas circulares en las hojas de un color marrón y unos pequeños puntos negros en el interior de las manchas. Esta enfermedad del trigo se dispersa mediante el viento y las gotas de lluvia o del rocío. Estas manchas necróticas provocan una disminución de la fotosíntesis y una

afectación importante de la formación y el llenado del grano en el cultivo de trigo (Vera & Madariaga, 2017).

- **Condiciones predisponentes**

Esta enfermedad es producida por un hongo que se adapta muy bien a temperaturas bajas en un rango de (5-20 °C) para reproducirse (Vera & Madariaga, 2017).

- **Manejo de la enfermedad**

Se recomienda el uso de fungicidas en dosis indicadas por el fabricante para poder eliminar las primeras apariciones de septoriosis en el trigo. A parte de utilizar variedades más resistentes a este hongo es importante eliminar los restos vegetales del cultivo de trigo e ir cambiando el cultivo en cada campaña para no tener siempre cultivo de trigo en el mismo campo (Cordo & Castillo, 2018).

2.10.3 Rincosporiosis *(Rhynchosporium secalis)*

Taxonomía

Phylum: Ascomycota

Clase: Ascomycetes

Género: *Rhynchosporium*

Especie: *secalis*

Nombre científico: *Rhynchosporium secalis*

Es una enfermedad del cultivo del trigo y otras gramíneas, producida por un hongo. Su presencia se detecta por sus manchas grandes y alargadas en las hojas de trigo, de color marrón y una línea negra en todo el borde de la mancha (Ormeño, 2023).

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

Afecta hojas y tallo, por lo que disminuye el rendimiento, el ahijado y las espigas. Este hongo se dispersa principalmente por las gotas de agua, por lo que no se desplaza mucho por el cultivo de trigo (Franquesa, 2020).

- **Condiciones predisponentes**

Su ciclo reproductivo es favorable con temperaturas de 15 a 30 °C (Franquesa, 2020).

- **Manejo de la enfermedad**

Para eliminar o prevenir esta enfermedad del trigo es recomendable planificar una buena rotación de cultivos y eliminar restos vegetales del campo. En el mercado también existen variedades con mayor resistencia a este tipo de enfermedades del trigo (Franquesa, 2020).

2.10.4 Carbones comunes *(Tilletia caries, T. foetida, T. controversa)*

Taxonomía

Phylum: Basidiomycota

Clase: Exobasidiomycetes

Género: *Tilletia*

Especie: *caries*

Nombre científico: *Tilletia caries*

Es un hongo que se sabe provoca infección de la espiga en trigo de invierno blanco y blando o duro y rojo, como “caries”, el hongo se desarrolla entre las células vegetales y, a la larga, crece dentro de los granos. Cuando esto sucede, el micelio fúngico se transforma en teliosporas y todo el grano se convierte en una bola de

carbón llena de teliosporas, Estas bolas se rompen durante la cosecha y las teliosporas caen al suelo contaminando los granos sanos, creando así una fuente de infección para el próximo ciclo de cultivo (Astiz, 2016).

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

Los principales síntomas son sobre las espigas infectadas adquieren un color verde azulado (o más oscuro) y las glumas tienden a separarse ligeramente siendo visibles después del estadio de masa blanda. Los tejidos de la espiga se transforman en una masa pulverulenta de esporas negras (teliosporas). No hay granos y solo queda el raquis. Se produce una destrucción parcial de la flor, permaneciendo las glumas. Los granos son reemplazados por una masa pulverulenta de esporas negras (teliosporas). En muchas ocasiones las espigas enfermas no se diferencian a simple vista de las sanas (Iqbal, 2022).

- **Condiciones predisponentes**

La infección es influenciada por la temperatura del suelo durante la germinación. Las mayores infecciones coinciden con siembras tempranas, con temperaturas medias de 9°C y son menores en siembras tardías con 4-7°C. La infección es sistémica. En el terreno puede tener lugar en un amplio rango de temperaturas. Entre 5 y 10 °C son las óptimas. La infección de *T. caries* opera dentro de un amplio rango de temperaturas (7.5 a 20 °C) (Gassó, 2020).

- **Manejo de la enfermedad**

Utilizar semilla certificada evitando la utilización de grano de proveniencia desconocida no sembrar y ante la sospecha de que la semilla pueda estar contaminada, podrá optarse por la desinfección de semilla previo a la siembra (Perez, 2016).

2.10.5 Mildiú polvoriento *(Erysiphe graminis)*

Taxonomía

Phylum: Ascomycota

Clase: Leotiomycetes

Género: *Erysiphe*

Especie: *graminis*

Nombre científico: *Erysiphe graminis*

Los hongos que causan mildiu polvoriento son hongos biotróficos, lo que significa que se alimentan de células vegetales vivas y apenas sobreviven en ausencia de cultivos vivos. Sobreviven como ascosporas o peritecios, estructuras que contiene ascosporas. Todavía no se han encontrado ascosporas para todos los hongos del mildiu polvoriento y no juegan un papel en la epidemia, especialmente en los cultivos en invernadero (Cherlin, 2023).

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

El síntoma característico es la clorosis (amarillamiento) foliar. El patógeno es enteramente superficial y externo. Puede afectar todas las partes aéreas de las platas, pero es más común sobre las vainas y los haces superiores de las hojas inferiores. Sobre la zona afectada se desarrolla el micelio o cuerpo del hongo de color blanquecino. Posteriormente intercalados en el micelio, se observan puntos oscuros que constituyen las fructificaciones sexuales del patógeno (Abdelrhim, 2017). El tejido fungoso más antiguo es gris amarillento.

El micelio, la estructura filiforme que forma el mildiu polvoriento, nunca penetra en los tejidos vegetales, sino que permanece en la superficie. En su búsqueda de nutrición, los hongos llegan a las células epidérmicas de la planta (la capa más

externa) a través de haustorios, que se asemejan a estructuras radiculares (Cherlin, 2023).

El tejido del huésped se torna clorótico o necrótico y, cuando la infección es grave, las hojas mueren. Con el tiempo se desarrollan, en el micelio, estructuras de fructificación negras y esféricas (cleistotecios) observables a simple vista (Chilebio, 2022).

- **Condiciones predisponentes**

Elevada dosis de nitrógeno y alta población de plantas favorecen el desarrollo de la enfermedad. La infección se produce con humedad relativa ambiental superior a 80%, pero libre de agua lluvia (gotas de agua en hojas inhiben la infección). Las conidias germinan en amplio rango de temperaturas (15 a 39°C), con un óptimo de 15°C e inhibiéndose sobre 30°C (Feledino, 2019). El desarrollo del oídio es óptimo a temperaturas ente 15-22ºC y con humedad relativa entre 85 a 100 %. Por encima de los 25ºC se frena su desarrollo, por eso es común observar esta enfermedad principalmente en macollaje. Para la germinación de las esporas no necesita agua libre. La diseminación de las esporas por el viento es muy eficiente (Zamora, 2017).

- **Manejo de la enfermedad**

Contra el mildiu polvoriento el tratamiento habitual es el uso reiterado de fungicidas, como el tabecur en dosis de 10 g L^{-1}, su ingrediente activo (propamicarb) es un fungicida de contacto (que también se utiliza en la agricultura orgánica) tiene el potencial de reducir la esporulación del patógeno hasta en un 80%. Los fungicidas de azufre para eliminar la cenicilla, en forma de polvo o aerosol, han demostrado ser muy eficaces para interrumpir el crecimiento del hongo (Cherlinka, 2023).

2.10.6 Fusariosis causadas por *Fusarium* spp.

Taxonomía

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Género: *Fusarium*

Especie: *nivale* o *graminearum*

Nombre científico: *Fusarium* spp.

Esta enfermedad puede provocar pérdidas económicas severas en todos los eslabones de la cadena agroindustrial como consecuencia de reducción del rendimiento, disminución de la calidad física e industrial del mismo y menor inocuidad en el producto final debido a las toxinas producidas por el hongo son nocivas para la salud. La especie más frecuente es *F. graminearum* y las principales toxinas que produce son el deoxinivalenol (DON) y la zearalenona (ZEA) (INIA, 2014).

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

Las espigas o parte de esta pueden quedar blanca y los granos abortados o chuzos *F. graminearum* infecta la espiga utilizando las flores como vía de entrada *F. graminearum* coloniza los principales componentes de la espiga: parte florales, glumas, granos y raquis. Los primeros síntomas observados son pequeñas áreas pardo oscuras en la base de las glumas, cuando la infección de *Fusarium* ocurre en la base del raquis, toda la espiga puede tornarse blanca (Dong et al., 2020).

- **Condiciones predisponentes**

Esta enfermedad afecta la producción de trigo cuando ocurren condiciones climáticas favorables (lluvias frecuentes y temperaturas cálidas) durante la floración y llenado de grano. Precipitaciones frecuentes, alta humedad relativa y temperaturas cercanas al 25 °C durante la floración (Dong et al., 2020).

- **Manejo de la enfermedad**

Se requiere esfuerzos adicionales en investigación y desarrollo para lograr variedades de trigo con niveles de resistencia adecuados, la resistencia del trigo a la fusariosis se clasifica en cinco tipos: resistencia a la infección inicial, resistencia a la diseminación, resistencia a la infección del grano y tolerancia (Steiner, 2019).

Para el manejo químico, se pueden aplicar fungicidas específicos como estrobilurinas y carboxamidas. Estos fungicidas deben aplicarse oportunamente, antes de la aparición de síntomas o durante las etapas iniciales de desarrollo de la enfermedad. Se debe rotar los fungicidas con diferentes modos de acción para prevenir la resistencia, considerar las condiciones ambientales al momento de la aplicación y monitorear regularmente los cultivos para evaluar la eficacia del control y detectar cualquier signo de reinfestación (INIA, 2014).

2.11 Uso de microorganismos en la agricultura

2.11.1 Micorrizas

La simbiosis micorrícica es una relación de mutuo beneficio entre un hongo y plantas. Para el primero el hongo proporciona a la planta agua y nutrientes a cambio de azúcares derivados de la fotosíntesis. El hongo se encarga de suministrar a la planta agua y nutrientes tales como fósforo, potasio, calcio, hierro, zinc, magnesio y manganeso. A cambio, la planta proporciona al hongo azúcares derivados de la fotosíntesis. En concreto, le suministra triosa fosfato, un azúcar derivado de la sacarosa que el hongo no sería capaz de obtener por su cuenta (Martinez, 2022).

Las micorrizas están presentes en casi todos los grupos de plantas terrestres (no sólo arbóreas, también en herbáceas perennes e incluso en anuales, como el trigo), siendo especialmente frecuentes en terrenos ricos en humus (Bernard, 2021).

- **Ectomicorrizas**

Los hongos que son formados por ascomicetes desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces nutricias de la planta.

Se producen principalmente sobre especies forestales y leñosas.

- **Endomicorrizas**

Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical. Dentro de este grupo existen tres tipos característicos:

- ✓ **Orquideomicorrizas** (asociadas a Orquidiáceas).
- ✓ **Ericomicorrizas** (ligadas a la Familia Ericáceas y con muchas similitudes estructurales con las ectendomicorrizas.
- ✓ **Micorrizas arbusculares:** Caracterizadas por formar arbúsculos intracelulares y sin duda las de mayor difusión e importancia económica y ecológica.

- **Ectendomicorrizas**

Los hongos que las producen colonizan de forma dual las raíces: externamente formando un manto cortical e internamente penetrando intracelularmente en el córtex (Belen, 2021).

La micorriza es una asociación constituida por un conjunto de hifas fúngicas (micelio) que, al entrar en contacto con las raíces de las plantas, las pueden envolver formando un manto y penetrarlas intercelularmente a través de las células del córtex, como en el caso de la ectomicorriza o, como en el caso de la micorriza arbuscular, penetran la raíz, pero no se forma ningún manto. La red de micelio permite, bajo ciertas condiciones, un libre flujo de nutrimentos hacia las plantas hospederas y entre las raíces de las plantas interconectadas, lo que sugiere que la micorriza establece una gran unión bajo el suelo entre plantas que, a simple vista, podrían parecer lejanas y sin ninguna relación. Así, la micorriza ofrece a la planta hospedera y al ecosistema, diferentes beneficios en términos de sobrevivencia y funcionamiento (Filho, Sobrinho, & Pascholati, 2017).

2.11.2 *Bacillus* spp.

El género *Bacillus* es secretor de proteínas y metabolitos eficientes para el control de plagas y enfermedades, promueve el crecimiento vegetal a través de la solubilización de fósforo y la producción de reguladores de crecimiento como el ácido indol acético; así mismo participa en la fijación de nitrógeno cuando hace parte de consorcios microbianos. Como biofertilizante es una opción amigable para el suelo y el ambiente que da respuesta a la necesidad de implementar la agricultura sostenible (Corrales, 2017).

Bacillus spp. contribuye a la agricultura al fomentar la biodiversidad del suelo y promover un entorno agrícola más equilibrado y saludable. Los microrganismos como *B. subtilis* y *B. thuringiensis*, se utilizan en la agricultura como agentes biológicos para promover el crecimiento de las plantas, protegerlas contra enfermedades y controlar plagas. Su función principal radica en mejorar la salud de los cultivos y la productividad agrícola de manera sostenible, reduciendo la dependencia de pesticidas químicos y fertilizantes sintéticos (Zhang et al., 2023).

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación de la investigación

- **Localización de la investigación**

La presente investigación se realizó en la granja experimental Laguacoto III, en el cantón Guaranda, provincia de Bolívar.

- **Situación geográfica y edafoclimática**

Las condiciones climáticas de la localización del ensayo se indican a continuación:

Altitud	2640 msnm
Latitud	01° 32’ S
Longitud	78° 59’ O
T. máxima	21° C
T. mínima	7° C
T. media anual	14° C
P. media anual	900 mm
Heliofanía	900 h/l/año
Humedad R.	70%
Tipo de suelo	Franco-arcilloso
pH	7.11

Fuente: Laguacoto III (UEB) (Cayambe, 2023)

- **Zona de vida (zonificación ecológica)**

El sitio según el sistema de zonas de vida de Holdridge corresponde a la formación de Bosque seco Montano Bajo. (bs-MB) (Holdridge, 1979).

3.2 Metodología

3.2.1 Material en estudio

Accesión de trigo harinero accesión TA-18-008 del proyecto UEB-FIASA.

Micorrizas (MICOR-9)

Bacillus spp.

3.2.2 Factores en estudio

Factor A: Inoculación

A1: Semillas sin inoculación

A2: Semillas de trigo inoculadas *Bacillus* spp. + Micorrizas

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. + Micorrizas Cubre el 100% del requerimiento de nutrientes

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

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

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

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

3.2.4 Tipo de diseño experimental o estadístico

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

3.2.5 Manejo de la investigación

- **Análisis físico químico del suelo**

Antes de realizar la siembra es muy recomendable y necesaria la toma de muestra o análisis de suelo, para este se recolecta una muestra del sitio en 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 fue homogenizada. Y se tomó 500 g aproximadamente y fue colocada en una bolsa ziploc. Luego, fue enviada la muestra al laboratorio del INIAP para que puedan analizarlas.

- **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 fue realizado con el uso de un tractor agrícola acoplado una rastra.

- **Nivelación del terreno**

Esta actividad se lo realizó el mismo día de la siembra, se lo efectuó con el objetivo de evitar irregularidades y mayor homogeneidad de las parcelas.

- **Delimitación de ensayo**

Se realizó con la ayuda de estacas y piolas de acuerdo con el croquis del ensayo, las dimensiones fueron de 1m × 2 m para cada una de las unidades experimentales.

- **Inoculación de semillas**

Se procedió a inocular las semillas de trigo previamente seleccionada con 250 cc de *Bacillus* spp. y Micor-9, para 50 kg de semilla de trigo. Esta semilla fue colocada en bolsas ziploc, se mezcló y se dejó en oscuridad por 24 horas. El proceso de inoculación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitopatología de la UEB.

- **Siembra del ensayo**

Efectuado de manera manual, empleando cierta cantidad de semilla, de acuerdo con las recomendaciones del INIAP, la densidad de 148 kg ha^{-1}, se lo realizó en hileras. El tipo de siembra a realizado fue al voleo en líneas separadas por 15 cm.

- **Manejo de plagas**

Se aplicó un insecticida a los 4 días después de la siembra compuesto por thiamethoxam y lambdacihalotrina en dosis de 1.25 mL L^{-1}, para el control de diferentes especies de insectos.

- **Fertilización**

En este estudio se realizó dos aplicaciones de fertilizantes, la primera fertilización se efectuó en el período vegetativo del cultivo a los 22 días después de la siembra. Mientras que la segunda fertilización se llevó a cabo en el período reproductivo, es decir, a los 60 días después de la siembra. Para la fertilización se utilizó una dosificación de 100%, 75%, 50%, 25% y 0% con la variación en los distintos

fertilizantes como son: nitrato de calcio, urea, fosfato monopotásico, nitrato de potasio y nitrato de magnesio conforme al requerimiento de acuerdo con el siguiente detalle:

Dosis en (kg ha^{-1})	**Nitrógeno (N)**	**Fosforo (P)**	**Potasio (K)**	**Calcio (Ca)**	**Magnesio (Mg)**
Trigo 100%	104	16	64	12	12
Trigo 75%	78	12	48	9	9
Trigo 50%	52	8	32	6	6
Trigo 25%	26	4	16	3	3
Trigo 0%	0	0	0	0	0

Se aplicó al boleo en cada uno de los ensayos con la ayuda de guantes para no tener contacto con el fertilizante y luego de la fertilización se realizó un riego para diluirlo.

- **Manejo de malezas**

Respectivamente a la cantidad de maleza que se encuentre en las Unidades Experimentales (UE) retiramos manualmente, sin embargo, si la cantidad de maleza es mayor, como recomendación una aplicación de matamalezas específica para maleza de hoja ancha melsulfuron metil, en dosis de 10 g ha^{-1}.

- **Desmezcla**

Durante la etapa de espigamiento y en madurez fisiológica antes de la cosecha, se llevó 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 correspondan a la línea TA-18-008.

- **Cosecha**

Esta actividad se llevó a cabo una vez que la planta alcance su madurez fisiológica, la cosecha fue de forma manual con la ayuda de una hoz, posteriormente se colocó en sacos, cada uno de los tratamientos con sus respectivas etiquetas.

- **Trilla**

El proceso se realizó de forma mecánica, con la ayuda de una trilladora marca pulman, empleando un costal se empezó a trillar en orden de bloque y tratamiento de forma ordenada.

- **Secado**

Se lo realizó mediante la exposición solar, extendiéndose completamente el grano en un tendal, asegurándose de que esté expuesto, para que alcance la humedad óptima del 13%.

- **Aventado**

Esta actividad se realizó aprovechando el viento, se procedió a quitar los residuos existentes en el grano.

- **Almacenamiento**

El grano fue limpiado y se almaceno con sus respectivas etiquetas en recipientes en el laboratorio de Fitopatología de la UEB.

3.2.6 Métodos de evaluación (variables respuesta)

- **Porcentaje de emergencia (PE)**

Variable que se evaluó, a los 9 primeros días de haber transcurrido la siembra el número de plantas emergidas en cada parcela se evaluó mediante la observación directa en base a la escala de Ponce-Molina (2019): 1 Bueno: 81-100%; 2 Regular: 60-80 % y 3 Malo: <60 %.

- **Días al espigamiento (DE)**

Se realizó a través del conteo de los días transcurridos desde la siembra hasta la aparición morfológica de la espiga de al menos 50 % en cada unidad experimental.

- **Número de macollos (NM)**

Una vez que las plantas se encontraron en la etapa producción de macollos (Z2-Z2.9) se evaluó mediante la contabilización en 5 plantas tomadas al azar, en las cuales se contó el número de macollos por planta.

- **Altura de planta (AP)**

Se registró al momento que las plantas se encuentren en la madurez fisiológica en 10 plantas al azar mediante una varilla métrica desde la corona de la raíz hasta el ápice. Este dato se registró en cm.

- **Severidad de manchas foliares (SEVMa)**

Las evaluaciones se realizaron en tres etapas según el estado fisiológico de formación hoja bandera (Z3.9), espigamiento (Z5.0-5.9) y grano lechoso (Z7.0-7.9) 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 porcentaje.

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

Se utilizará la escala modificada de Cobb en tres etapas según el estado fisiológico de la planta; hoja bandera (Z3.9), espigamiento (Z5.0-5.9) y grano lechoso pastoso (Z7.0-7.9), para esto se tomó 10 plantas al azar de cada unidad experimental, y se evaluó la cuarta hoja y la hoja bandera. Este dato se expresó en porcentaje.

- **Severidad de Fusarium (SEVFu)**

La evaluación de la severidad de fusarium se utilizó la escala diagramática propuesta por Stack & McMullen (2021) en la etapa espigamiento (Z5.0-5.9), grano lechoso (Z7.0-7.9), y grano pastoso (Z8.0-8.9). Para esto se evaluó en 20 espigas tomadas al azar en cada unidad experimental. Este dato se expresó en porcentaje.

- **Densidad radicular (DR)**

La variable densidad radicular se evaluó, eligiendo al azar seis puntos en la unidad experimental tres de ellos sobre la hilera y tres entre la hilera de 0-20 cm con la ayuda de un barreno, en una bandeja transparente se coloca un papel milimétrico para colocar todas las raíces y empezar a contar sus intercesiones, sumamos todas las intercesiones y multiplicamos para una constante de 0.3928 y dividimos para 100 y su valor se expresó en (cm cm^{-3}).

- **Peso hectolítrico (PH)**

Esta variable se registró una vez que el grano este limpio y seco al 13% de humedad, se tomó una muestra de un 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 (PMG)**

Se evaluó después de la cosecha, para lo cual 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 el peso en gramos.

- **Rendimiento (REN)**

Una vez cosechado el grano de cada parcela, limpio y almacenado se midió el porcentaje de humedad de cada muestra con un medidor de humedad. Luego los datos serán ajustados al 13 % de humedad. Finalmente, con los datos tomados se aplica la fórmula para determinar el rendimiento, como a continuación:

El rendimiento, se determinará aplicando la siguiente fórmula matemática:

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

R=Rendimiento en kg ha^{-1} al 13% de humedad
PCP=Peso de Campo por Parcela en kg
ANC=Área Neta Cosechada en

HE=Humedad Estándar (13%)

HC=Humedad de cosecha en porcentaje

3.2.7 Análisis de datos

- Análisis de varianza 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 Θ^2 A
FB (Niveles de fertilización) (b-1)	4	f^2 e + 6 Θ^2 B
A x B (a -1) (b -1)	4	f^2 e +3 Θ^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.

- Prueba de Tukey 5%

CAPÍTULO IV

4 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) y Altura de planta (AP).

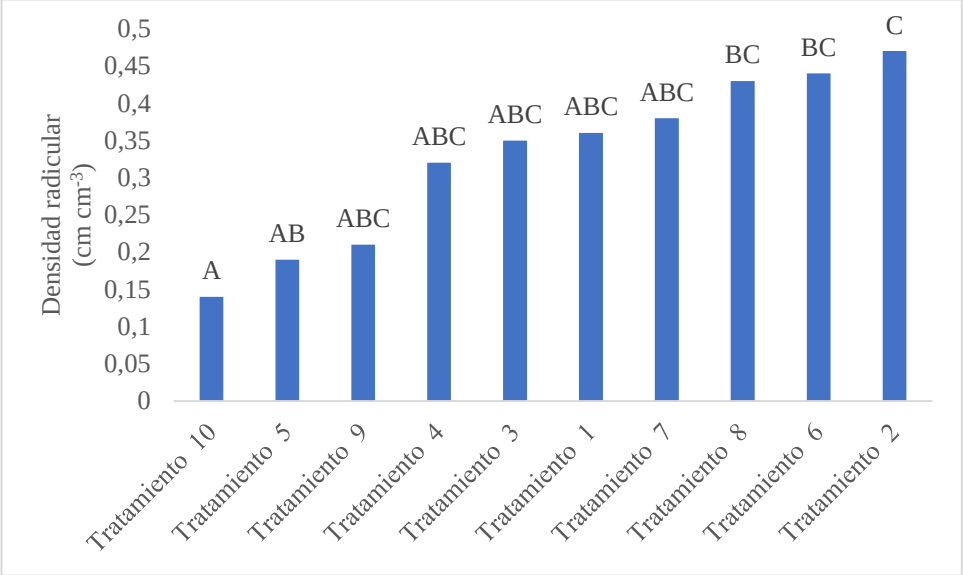
VARIABLES	GL	F	*p*-valor	CV (%)
PE (NS)	9	1.73	0.1541	17.55
NM (NS)	9	0.65	0.7453	16.01
DR (**)	9	4.67	0.0026	27.22
AP (NS)	9	2.11	0.0850	4.67
Error	18			

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

De acuerdo con el análisis de varianza de la Tabla 1, la variable DR fue altamente significativa ($p< 0.01$), demostrando que la inoculación multiespecie y la fertilización incidieron sobre el desarrollo de la raíz. Por el contrario, las variables PE, NM y AP resultaron ser no significativas en este estudio.

Figura 1

Medias para la Densidad Radicular (DR) de la combinación multiespecie de Bacillus spp. + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes de los tratamientos.



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

De acuerdo con la Figura 1, la variable DR, se observó que el T2 (semillas sin inoculación con el 75% de requerimiento de nutrientes) con una media de 0.47 cm cm^{-3} presento un mayor DR, comparando con el T10 (semillas con inoculación con el 0% de requerimiento de nutrientes) en el que se observó una media de 0.14 cm cm^{-3}.

Investigaciones relacionadas, han concluido que mayor proporción de raíces en la cebada, el trigo y el triticale se concentró cerca de la superficie del suelo (0-20 cm) en plantas de trigo que presentan una ruta metabólica en simbiosis micorrícica aumenta su presencia y, con ello, su contribución al suministro de nutrientes (Miranda & López, 2016).

En el presente estudio, se corroboran los resultados obtenidos por Miranda & López (2016), donde con la inoculación de micorrizas se obtiene mayor masa radicular; coincidiendo además con la investigación de Montaño et al. (2021), en la que se

concluyó que con la presencia de micorrizas hay un beneficio de absorción de macronutrientes.

Por lo que se determina que las micorrizas son microorganismos biológicos que aumenten la absorción de P, ideal para que las plantas de maíz o trigo ante la presencia o ausencia de N y P mineral, lo que permite minimizar las dosis de fertilizante aplicadas (Montaño et al., 2021).

4.1.2 Análisis de variables sanitarias

Tabla 2

Resultados del análisis de varianza de Severidad de Manchas Foliares (SEVMa), Severidad de Roya de la Hoja (SEVRo) y Severidad de Fusarium (SEVFu).

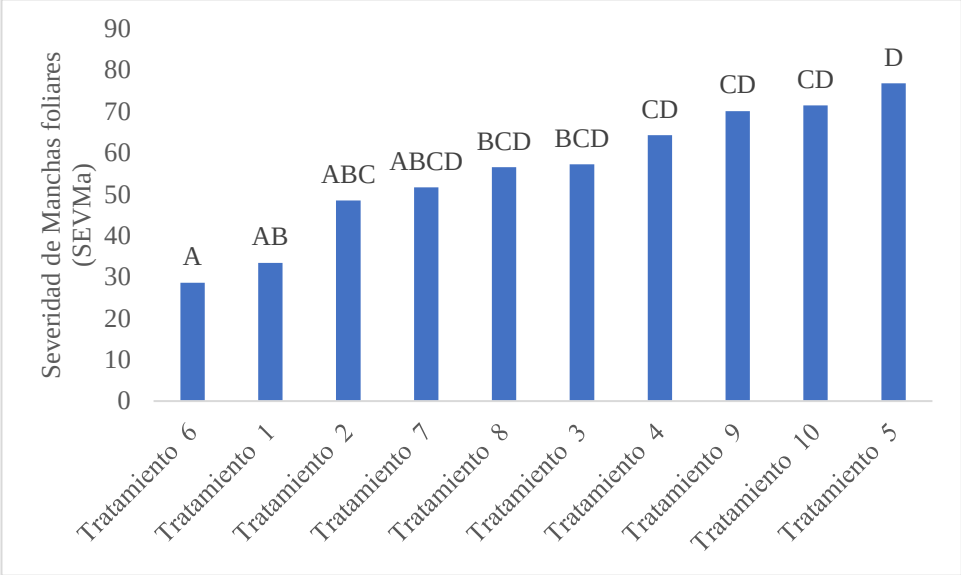
VARIABLES	GL	F	*p*-valor	CV (%)
SEVMa (**)	9	9.19	<0.0001	16.28
SEVRo (**)	9	8.63	0.0001	30.95
SEVFu (NS)	9	1.43	0.2462	8.33
Error	18			

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

En la Tabla 2. Se puede evidenciar que la SEVMa y SEVRo estadísticamente son altamente significativos (p<0.01), pero en contraposición la SEVFu no fue significativa en el presente estudio.

Figura 2

Medias para la Severidad de Manchas Foliares (SEVMa) de la combinación multiespecie de Bacillus spp. + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes de los tratamientos.



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

En la Figura 2, con relación de la SEVMa se identificó que el T6 (semillas con inoculación y con el 100% de requerimiento de nutrientes) fue en el que mostró menor SEV Ma con una media de 28.57%, en contraste con el T5 (semillas sin inoculación con el 0% de requerimiento de nutrientes) en el que la severidad llego a alcanzar el 76.83%.

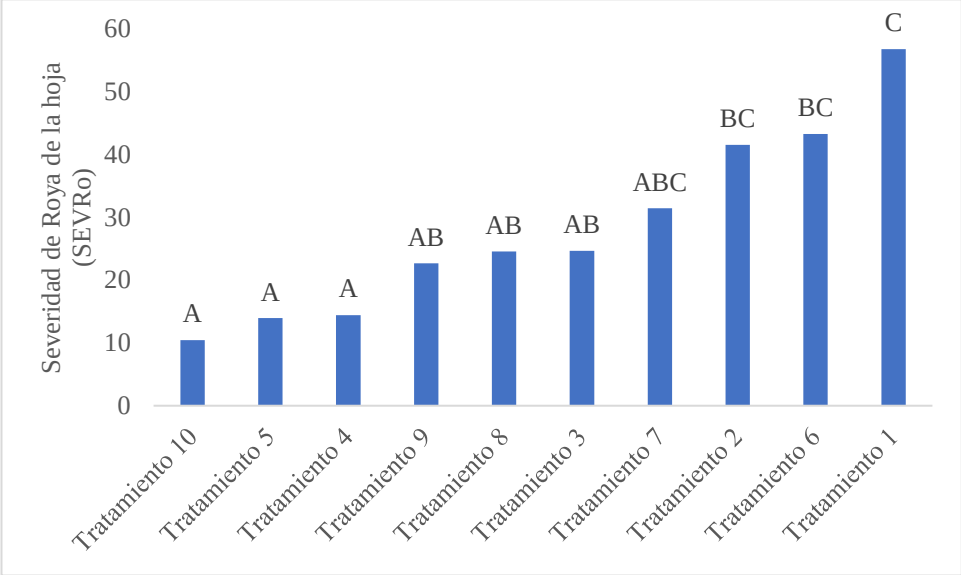
Al observar los demás tratamientos en estudio se puede establecer que el factor inoculación incidente en la reducción de la ocurrencia de manchas foliares, pero por otro lado al suplir el 100% de la nutrición mineral se observa una importante reducción en la severidad de manchas foliares, como en el T1 (semillas sin inoculación con el 100% de requerimiento de nutrientes).

El presente estudio, se concluyó que la inoculación en semilla ayuda a soportar los efectos de factores bióticos y abióticos; además afirman que con un mejor manejo de la enfermedad se disminuye la severidad de manchas foliares (Sánchez et al.

2020). En esta investigación se observó que la inoculación multiespecie con la presencia de *Bacillus* sp. logró reducir la severidad de manchas foliares.

Figura 3

Medias para la Severidad de Roya de la Hoja (SEVRo) de la combinación multiespecie de Bacillus spp. + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes de los tratamientos.



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

En la Figura 3, los T10, T5 y T4 evidenciaron la severidad más baja para SEVRo observándose que para el T10 (semillas con inoculación y con el 0% de requerimientos de nutrientes) se obtuvo una media de 10.45% mientras que en el T1 (semillas sin inoculación con el 100% de requerimiento de nutrientes) con una media de 56.75%.

Al prestar atención a los demás tratamientos en estudio se puede establecer que el factor inoculación resulto ser muy incidente para la disminución de la presencia de severidad de roya de la hoja causada por *P. tritici*, por el contrario, al aumentar el requerimiento de nutrientes se observa un incremento en la severidad, como se evidencia en el T1. Esto se debe al tipo de patógeno biotrófico que por efecto aumenta su severidad al tener la mayor disponibilidad de nutrientes (Simón et al., 2020, Román et al., 2024).

4.1.3 Análisis de variables de rendimiento

Tabla 3

Resultados del análisis de varianza de Rendimiento (REN), Peso de Mil Granos (PMG) y Peso Hectolítrico (PH).

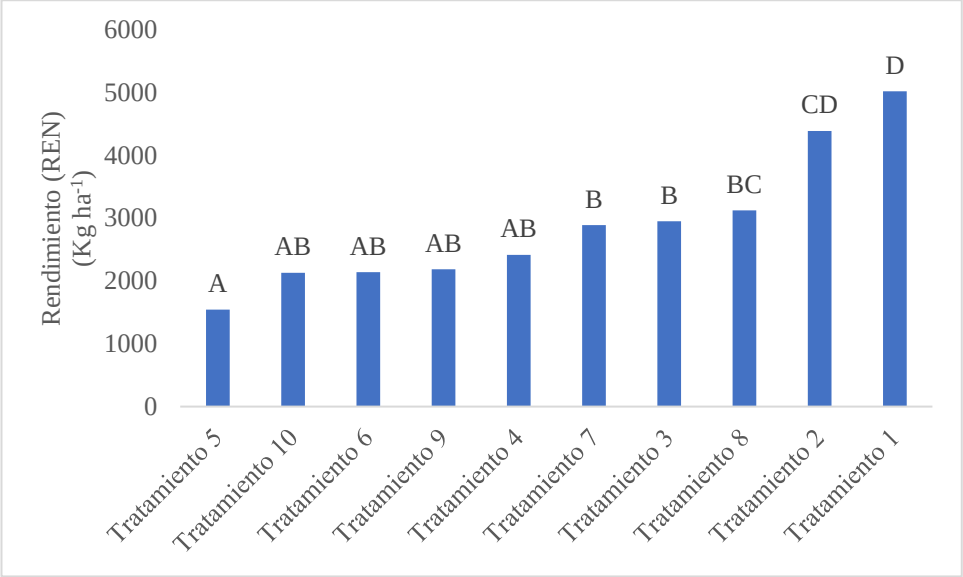
VARIABLES	GL	F	*p*-valor	CV (%)
REN (**)	9	16.8	<0.0001	15.87
PMG (NS)	9	0.62	0.7625	4.18
PH (NS)	9	2.4	0.0537	2.62
Error	18			

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

En la Tabla 3, se puede determinar que la variable REN fue estadísticamente altamente significativa obteniendo (p<0.01), mientras que el PMG y PH no fueron significativos. Con el resultado se puede inferir que la restricción de nutrientes ejerce un efecto sobre la variable de rendimiento.

Figura 4

Medias para Rendimiento (REN) de la combinación multiespecie de Bacillus spp. *+ Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes de los tratamientos.*



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

De acuerdo con la Figura 4, en la variable de REN el mayor valor se pondero en el T1 (semillas sin inoculación con el 100% de requerimiento de nutrientes) con una media de 5019.79 kg ha^{-1} en contraste al menor valor del T5 (semillas sin inoculación con el 0% de requerimiento de nutrientes) con una media de 1543.64 kg ha^{-1}.

La combinación de microorganismos utilizados como inóculo de semillas dan mejores resultados en el rendimiento de las gramíneas, que cuando se inoculan los organismos en forma individual (Loredo & Espinosa, 2014). Sin embargo, en este estudio el incremento de rendimiento no estuvo asociado en los tratamientos con inoculación, por lo que esta variable estaría asociada más a la disponibilidad de nutrientes. De esta forma es necesario realizar investigación de campo sobre los tipos de microorganismos que producen efectos sinérgicos y su aplicación en gramíneas.

En otros estudios la utilización de micorrizas en caso del maíz y el sorgo tienen alta dependencia micorrícica mientras que el trigo, la avena y la cebada poseen baja dependencia, consecuentemente, la rotación de cultivos tiene un efecto significativo sobre la nutrición vegetal del fósforo y otros nutrimientos debido a que la población de micorrizas decrece en el suelo cuando se cultiva especies de baja dependencia de estas (Grageda & Arturo, 2023).

Esta investigación se relaciona con los resultados por Grageda & Arturo (2023) que indica que el cultivo de trigo presenta una baja simbiosis micorrízica. Por lo que se recomienda que en futuras investigaciones se analice las sinergias entre los microorganismos asociados al cultivo de trigo para llegar a obtener mejor rendimiento.

4.1.4 Análisis económico

Tabla 4

Presupuesto parcial para los tratamientos en estudio.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	Ajuste al rendimiento (10%)	Total, de costos variables	Ingresos totales (USD)	Ingresos netos (USD)
5	1543.64	1389.28	$81.98	$747.20	$665.22
10	2130.66	1917.59	$104.91	$1031.34	$926.43
4	2414.19	2172.77	$262.35	$1168.58	$906.24
9	2185.05	1966.55	$285.27	$1057.67	$772.40
3	2947.75	2652.98	$442.71	$1426.85	$984.14
8	3124.64	2812.18	$465.64	$1512.48	$1046.84
2	4387.28	3948.55	$623.08	$2123.66	$1500.58
7	2887.17	2598.45	$646.01	$1397.53	$751.52
1	5019.79	4517.81	$803.44	$2429.82	$1626.38
6	2137.77	1923.99	$826.37	$1034.78	$208.41

El tratamiento con un mayor costo variable perteneció al T6 (semillas con inoculante con el 100% de requerimientos de nutrientes), con un costo de $826.37. Por el contrario, el costo variable más bajo fue el T5 (semillas sin inoculante con el 0% de requerimientos de nutrientes) con un costo variable de $81.98.

En contraposición los ingresos netos son más altos en los tratamientos con semillas sin inoculación que cubren un mayor porcentaje del requerimiento de nutrientes, alcanzando un máximo de $1626.38 en el T1 (sin inoculación y con el 100% de requerimientos de nutrientes) sin embargo el que obtuvo un menor ingreso neto fue el T6 (con inoculación y con el 100% de requerimientos de nutrientes) con $208.41.

Tabla 5

Análisis de dominancia para los tratamientos en estudio.

Tratamiento	Total, de costos variables (USD)	Beneficios netos (USD)	Análisis de dominancia
5	$81.98	$665.22	ND
10	$104.91	$926.43	ND
4	$262.35	$906.24	D
9	$285.27	$772.40	D
3	$442.71	$984.14	ND
8	$465.64	$1046.84	ND
2	$623.08	$1500.58	ND
7	$646.01	$751.52	D
1	$803.44	$1.626.38	ND
6	$826.37	$208.41	D

El análisis de dominancia en los tratamientos permite identificar qué opciones son más eficientes en términos de beneficios netos en relación con los costos variables. Los resultados muestran cómo ciertos tratamientos dominan a otros, lo que implica que, en comparación, ofrecen una mejor relación costo/beneficio.

Según el análisis de dominancia de todos los tratamientos en estudio se puede determinar que los tratamientos 5, 10, 3, 8, 2 y 1 son No Dominados siendo el T5 (semillas sin inoculantes con el 0% de requerimientos de nutrientes), T10 (semillas con inoculantes con el 0% de requerimientos de nutrientes), T3 (semillas sin inoculante con el 50% de requerimientos de nutrientes), T8 (semillas con inoculante con el 50% de requerimientos de nutrientes), T2 (semillas sin inoculante con el 75% de requerimientos de nutrientes) y también el T1 (semillas sin inoculación con el 100% de requerimientos de nutrientes), mientras los demás son Dominados.

Todos los tratamientos presentan el análisis de dominancia como ND, lo que indica que, en términos de costos y beneficios, no existe un tratamiento que sea claramente superior a los demás. Es decir, no hay tratamientos dominados en relación a sus

beneficios netos y costos variables. En todos los tratamientos, a medida que aumenta la cobertura de nutrientes, los costos también aumentan, pero los beneficios netos aumentan de manera proporcional. Esto sugiere que cubrir un mayor porcentaje de nutrientes (a través de cualquiera de los tratamientos) tiene un impacto positivo en los beneficios netos, aunque con un costo incremental.

En términos de beneficios netos y costos variables, el tratamiento que cubre un mayor porcentaje de nutrientes tiende a ser más rentable, especialmente el T1 (semillas sin inoculación con el 100% de requerimientos de nutrientes) que tiene el mayor beneficio neto con $1626.38.

Tabla 6

Tasa de retorno marginal en el efecto de la inoculación multiespecie con Bacillus spp. *y micorrizas frente al manejo restrictivo de nutrientes sobre la sanidad y el rendimiento en trigo.*

Tratamiento	Total, de costos variables (USD)	Costos variables marginales (USD)	Beneficios netos (USD)	Beneficios netos marginales (USD)	Tasa de retorno marginal (%)
5	$81.98		$665.22		
10	$104.91	$22.93	$926.43	$261.22	1139%
3	$442.71	$337.80	$984.14	$57.71	17%
8	$465.64	$22.93	$1046.84	$62.69	273%
2	$623.08	$157.44	$1500.58	$453.74	288%
1	$803.44	$180.37	$1626.38	$125.80	70%

La Tabla 6, en los T10 y T8, la TRM fue significativamente alta, especialmente en el T10, que tiene una TRM de 1139%. Esto indica que el beneficio neto obtenido por el costo adicional de la inoculación multiespecie (aumento de $22.93 en costos) es extraordinariamente alto, resultando en un beneficio adicional de $261.22. Esto sugiere que la inoculación, aunque aumenta los costos, genera una gran mejora en el rendimiento y la sanidad del trigo en comparación con el manejo sin inoculación.

Por otro lado, los tratamientos sin inoculación muestran tasas de retorno marginal más bajas, pero aún positivas. El T3 (semillas sin inoculación con 50% de requerimientos de nutrientes) tiene una TRM de 17%, lo que indica que la rentabilidad adicional generada por aumentar la cobertura de nutrientes es relativamente baja. Mientras que el T2 (semillas sin inoculación con 75% de requerimientos de nutrientes) tiene una TRM de 288%, lo que refleja una mejora considerable en la eficiencia del uso de nutrientes y los beneficios asociados.

Finalmente, el T1 (semillas sin inoculación con 100% de requerimientos de nutrientes), tiene una TRM de 70%, lo que indica que, aunque los beneficios netos

son mayores, el retorno marginal es más moderado en comparación con los tratamientos con menor cobertura de nutrientes.

4.2 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo con los resultados en esta investigación, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, debido a que la inoculación multiespecie con *Bacillus* spp. y micorrizas en semillas de trigo y la restricción de nutrientes incide positivamente sobre el estado sanitario y el rendimiento.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye lo siguiente:

- La densidad radicular (DR) mostro que el T2, con semillas sin inoculación y un 75% de requerimiento nutricional, presentó una mayor DR (0.47 cm cm^{-3}) en comparación con el T10, que incluía inoculación con *Bacillus* spp. y micorrizas, pero con un 0% de nutrientes. Estos resultados indican que la restricción de nutrientes tiene un impacto más importante en el desarrollo radicular que la inoculación de micorrizas y *Bacillus* spp. en las condiciones evaluadas.
- La combinación de inoculación y nutrición completa (100%) resultó en una menor severidad de manchas foliares, mientras que la falta de inoculación y nutrientes causó mayor daño. El estudio demostró que tanto la inoculación de semillas como el manejo adecuado de los nutrientes son esenciales para reducir la severidad de las enfermedades foliares en las plantas.
- La inoculación fue efectiva en la reducción de la roya de la hoja, aunque un mayor suministro de nutrientes incrementó su severidad. Estos hallazgos subrayan la importancia de una estrategia integrada de inoculación y nutrición para controlar eficazmente las enfermedades foliares y mejorar la salud de los cultivos.
- En relación a la variable de rendimiento (REN) el T1, con el 100% de los nutrientes y sin inoculación, mostró el mayor rendimiento con 5019.79 kg ha^{-1}, comparando con el T5, con el 0% de nutrientes y sin inoculación, obtuvo el menor rendimiento (1543.64 kg ha^{-1}). Esto destaca la importancia de una adecuada nutrición para maximizar el rendimiento.
- La combinación de inoculantes en esta investigación no resulto ser muy eficiente desde el punto de vista económico, ya que los tratamientos sin

inoculación son generalmente más rentables, especialmente en condiciones de manejo óptimo de nutrientes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es importante repetir el experimento para verificar si los efectos observados en la primera campaña son consistentes. Esto ayudará a asegurar que las conclusiones sean válidas.
- Para potenciar el crecimiento inicial y la productividad de las plantas, se debe asociar la inoculación biológica de *Bacillus* spp. y micorrizas con un aporte equilibrado de nutrientes. Esto favorece la emergencia, la formación de raíces y el desarrollo general de las plantas.
- Se recomienda ajustar la estrategia de manejo del cultivo en función de la fertilidad del suelo, el nivel de nutrientes e inoculación disponible, y las condiciones climáticas locales. Esta adaptación permitirá maximizar el rendimiento y la eficiencia del cultivo, optimizando el uso de recursos en función de las variaciones específicas de cada entorno.

BIBLIOGRAFÍA

Alsulaiman, M. A., & Al-Ansari, A. S. (2023). Response of some wheat (*Triticum aestivum* L.) growth parameters to nano phosphate fertilizer compared to superphosphate fertilizer. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, *36*(2), 215-225

Cordero, K. (2019). Cultivo de cereales anuales: trigo, arroz, avena y maíz. Recuperado de Biblioteca INIA: https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle /20.500.14001/3622/NR42046.pdf

Cordo, A., & Castillo, N. (2018). Enfermedades del trigo: Avances científicos en la Argentina. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar /handle/11336/137422

Corrales, L. (Junio de 2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, *15*(27), 46-65

Courtis, A. (2023). Germinación de semillas. Recuperado de https://exa.unne.edu.ar /biologia/fisiologia.vegetal/GuiadeestudioGerminacion.pdf

Cubero, C. (2021). Análisis Paleocarpologico. Recuperado de https://repo sitori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/48874/cap_13.pdf? sequence=1

Cuellar, S. (20 de Junio de 2022). Pulgones en el trigo, así se pueden controlar con agroquímicos. Recuperado de https://idp.cimmyt.org/pulgones-en-el-trigo-asi-se-pueden-controlar-sin-agroquimicos/

Dong, F., Xu, J., Zhang, X., & Wang, S. (2020). Gramineous weeds near paddy fields are alternative hosts for the *Fusarium graminearum* species complex that causes fusarium head blight in rice. *Plant pathology, 69(3)*, 433-441.

Feledino, F. (2019). Guía de enfermedades que afectan al cultivo de la avena y sus estrategias de prevención. Recuperado de https://biblioteca.inia.cl/bits tream/handle/20.500.14001/66924/NR41949.pdf

Franquesa, M. (07 de Agosto de 2020). Cinco enfermedades del trigo que debes conocer Agroptima. Recuperado de https://www.agroptima.com/es/blog/5-enfermedades-del-trigo-que-debes-conocer/

Gacetilla. (10 de Diciembre de 2020). Manejo en la fase crítica del cultivo. Recuperado de https://capeco.org.py/wp-content/uploads/2020/06 /3-Gacetilla-03-2020-Trigo-Fase-Crítica.pdf

Gacetilla, D. (10 de Mayo de 2020). Plagas de trigo y su manejo. Recuperado de https://capeco .org.py/wp-content/uploads/2020/07/5-Gacetilla-05-2020-Trigo-Control-de-plagas.pdf

Gardentech. (2017). Las manchas de las hojas por hongos *Alternaria*. Recuperado de Gardentech: https://www.gardentech.com/ es/disease/alternaria-leaf-spot

Garófalo, J. (2023). Evaluación del comportamiento agronómico de dieciocho variedades mejoradas de trigo *(Triticum aestivum* L.*)* liberadas por el INIAP en el Campus Querochaca, Cevallos.[Tesis de pregrado, UTA]. Recuperado de https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/38376/1/049%20Agronomía%20-%20Galarza%20Tenesaca%20Edisson%20Roberto.pdf

Gassó, A. (2020). Detección de *Tilletia* spp. (carbón cubierto) en semillas de *Triticum* spp. Recuperado de https://www. sinavimo.gob.ar/plaga/tilletia-caries

Gómez, R. (25 de Marzo de 2022). Control de chinches en la agricultura. Recuperado de https://www.aianer.com.ar/noticias/2707_control-de-chinches -en-la-agricultura.html

Grageda, O., & Arturo, F. (2023). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Campo experimental Bajio, 223-226.

Graham, M. J. (21 de Noviembre de 2018). Evaluación del genotipo de soja para la clorosis ferropénica mediante bicarbonato sódico y cultivo de tejidos. *Journal of plant 15(8)*, 1215-1225.

Grolleaud, M. (2023). El sistema post-cosecha y las pérdidas alimentarias. Recuperado de https://www.fao.org/3/ AC301S/AC301s00.htm#Índice

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2014). Guía para el manejo de la fusariosis de la espiga en trigo. Recuperado de Abril de 2024, http://www.inia.uy/Documentos/INIA%20La%20Estanzuela/INIA_guia%20manejo%20FE%20trigo%202014_web%20(1).pdf

Intituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria (INTA). (2000). Fertilización en el cultivo de trigo. Recuperado de https://agrobit.com/Documentos/A_1_4_Trigo%5C611_ag_000002fe[1].htm#:~:text=La%20fertilización%20en%20trigo%20es,y%20experiencia%20sobre%20el%20tema.

Iqbal, S. (2022). Carbón cubierto o caries de los cereales *(Tilletia* spp.*)*. Recuperado de https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id= 209

Jacto. (06 de Febrero de 2023). Cosecha de trigo: Cinco consejos para optimizarla. Recuperado de JACTO: https://bloglatam.jacto .com/cosecha-de-trigo/

Jardón, T. (24 de Septiembre de 2018). Métodos para combatir y evitar la gallinita ciega. Recuperado de http://huertoslacorredoria. emiweb.es/blog/plagas-e-insecticidas/10-metodos-para-combatir-y-evitar-la-galllinita-ciega.html

Kaviedes, J. (06 de Octubre de 2019). Introducción y evaluación agronómica de seis cultivos de trigo. El Universo. Recuperado de http://www.eluniverso.com/2009/06/06/1416/agricultores-gobierno-planifican-incrementar-plantaciones-trigo.html>.

Lanus, E. (2020). Fertilización en trigo para aumentar rindes. Recuperado de https://kioshistone.com/una-noticia.jsp?id=8#:~:text=El%

20cultivo%20de%20trigo%20requiere,o%20turbosos%20con%20acidez%20elevada.

Larran, S. (2016). Estudio de la micobiota endofítica asociada a trigo y soja y su significancia en la interacción con patógenos fúngicos. 2024, de [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de la Plata] Recuperado de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Perfil%20de%20Tesis/Paper%20de%20manchas%20foliares%202.0.pdf

Lerenius. (10 de Septiembre de 2019). Guía de síntomas y daños. Recuperado de https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Vigilancia%20pasiva/Guias%20de%20sintomas/Roya%20lineal%20amarilla%20del%20trigo%20(Puccinia%20striiformis%20f.%20sp.%20tritici).pdf

Lesaun, G. (2020). Una plaga de alto impacto Oruga militar o Gusano cogollero un problema para los cultivos. Recuperado de https://croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/gusano-cogollero

Lezaun, J. (18 de Abril de 2018). Áfidos o Pulgones los temibles enemigos del trigo y los cereales. Recuperado de Croplifela: https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/pulgon-de-la-espiga #:~:text=Ataca%20al%20trigo%20desde%20su%20nacimiento%20hasta%20encañazón%20forma%20colonias,la%20presencia%20de%20manchones%20amarillos.

Liang, R., Hou, R., & Li, J. (2020). Efectos de diferentes fertilizantes en las comunidades bacterianas de la rizosfera del trigo de invierno en la llanura del Norte de China. Agronomy, 03-05.

Loele, J. (27 de Septiembre de 2017). Las chinches ahora amenazan al trigo. Recuperado de https://news.agrofy.com.ar /noticia/167937/chinches-ahora-amenazan-trigo

Loredo, O., & Espinosa, V. (2014). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas. Terra Latinoamericana, 22(2), 225-239.

Lyndad. (16 de Noviembre de 2018). Taxonomía Vegetal del trigo. Recuperado de http://danyenede.blogspot.com/2018/11/trigo-triticum-taxonomia-reino-plantae.html

MAG. (2023). Ministerio de agricultura y ganadería. Recuperado de https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php /cifras-agroproductivas

Mandangon, P. (25 de Abril de 2019). Evaluación de siete variedades de trigo *(Triticum aestivum* L.*)* con tres tipos de manejo nutricional, A 2890 m.s.n.m. Juan Montalvo-Cayambe.[Tesis de pregrado, Universidad Politecnica Salesiana] Recuperado de: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/ 123456789/6717/1/UPS-YT00040.pdf

Martinez, J. (2022). ¿Qué son las micorrizas? Recuperado el 10 de Mayo de 2024, https://symborg.com/es/que-son-las-micorrizas/#:~:text=Aumenta%20el%20sistema%20radicular%20de,la%20cantidad%20de%20pelos%20absorbentes.

Martínez, V. (07 de Noviembre de 2019). Características del trigo. Recuperado de https://www.botanical-online.com/botanica/trigo-caracteristicas

Mehrad, N., Chorom, M., & Hojati, S. (2016). Effect of raw and NH4+-enriched zeolite on nitrogen uptake by wheat and nitrogen leaching in soils with different textures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(10), 1306-1316.

Miller, R. (2001). Explicaciones sobre el desarrollo de la planta. Recuperado de https://www.fao.org/3/X8234S/x8234 s0b.htm#TopOfPage

Miranda, L., & López, C. (10 de Diciembre de 2016). Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebada y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. *Terra Latinoamericana*, *34*(4), 393-407.

Montaño Arias, N. M., Quiroz García, V., & Cruz Flores , G. (2021). Colonización micorrízica arbuscular y fertilización mineral de genotipos de maíz y trigo cultivados en un Andisol. Terra Latinoamericana, 19(4), 337-344.

Ormeño, S. (03 de Marzo de 2023). Introducción sintética a las enfermedades de las plantas. Recuperado de https://oa.upm.es/75936/1/EnfPlantasOrmeno .pdf

Paredes, R., Apaza, G., & Ramirez, D. (18 de Mayo de 2018). Validación de variedades de trigo biofortificado en Valles Interandinos del Departamento de la Paz. Recuperado de https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle /123456789/23622/42-IIARE M.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text= Ciclo%20vegetativo%20-%20 de%20ciclo%20corto,redondeada%20con% 20extremos%20semi%20 redondeados.

Pérez, K. (2010). Efecto de microorganismos solubilizadores de fósforo en el rendimiento de trigo *(Triticum aestivum L.)* Canaán 3750 m.s.n.m. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóba Huamanga]. Recuperado de https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/ core/ bitstreams/74cb6a9c-71ff-493c-b29b-d1d889c4cac5/content

Perez, T. (08 de Abril de 2016). Enfermedades de cereales de invierno: Carbones, caries o tizones. Recuperado de https://borauhermanos.com/enfermedades-de-cereales-de-invierno-carbones-caries-o-tizones/

Perisse, P. (02 de Septiembre de 2022). *Un Punto de Vista Agronómico*. Recuperado de Semillas: http://www.cyta.com.ar /semilla/prologo.htm

Ponce, L., & Garófalo, J. (2021). Actividades de Investigación en Cereales. Recuperado de INIAP https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5973/1/ACTIVIDADES%20DE%20INVESTIGACIÓN%20EN%20CEREALES%20AÑO%202020%20impresa.pdf

Ramírez, L. (2012). La productividad del trigo harinero bajo diferentes condiciones de riego. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(6),* 1349-1360.

Ramos, F. (2005). Los Cereales que Alimentan al Mundo. Recuperado de La file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Perfil%20de%20Tesis/Trigo%20en%20produccion%20mundial.pdf

Román Ramos, A. E., Aucique-Perez, C. E., Debona, D., & Dallagnol, L. J. (2024). Nitrogen and Silicon Contribute to Wheat Defense's to P*yrenophora tritici-repentis*, but in an Independent Manner. *Plants*, *13*(11), 1426.

Rashid, K. N. (2015). Respuesta de genotipos de trigo a la inoculación con *Azospirillum brasilense.* [Tesis de doctorado, University od Sidney]. Recuperado de http://hdl.handle.net/2123/12898.

Rodriguez, M. (20 de Junio de 2020). Cepas nativas de *Bacillus* spp. como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoamericana, 38(2),* 313-321.

Salazar, S. (2018). Determinación de la producción de trigo *(Triticum vulgaris)* y su incidencia en los ingresos económicos de los productores en la Parroquia San Pablo Provincia Bolívar. [Tesis d epregrado, Universidad Técnica De Ambato] Recuperado de: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22070/1/tesis-006%20Producción%20Agric.%20sustentable%20-CD%20370.

Sanchez, M. (09 de Septiembre de 2021). Interacción de antinobacterias y plantas de trigo *(Triticum aestivum* L.*)*. Recuperado de http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4618/Sanchez_Alonso_MG_MC_Recursos_Geneticos_Productividad_Fisiologia_Vegetal_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Santana, D. (21 de Agosto de 2021). Caracterización agronómica y económica del Trigo *(Triticum aestivum)* variedad Jupateco, en la comunidad La Colmena, Jinotega, Nicaragua. Recuperado de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/303312567_Caracterizacion_agronomica_y_economi

ca_del_Trigo_Triticum_aestivum_variedad_Jupateco_en_la_comunidad_La_Colmena_Jinotega_Nicaragua

Simón, M. R., Fleitas, M. C., Castro, A. C., & Schierenbeck, M. (2020). How foliar fungal diseases affect nitrogen dynamics, milling, and end-use quality of wheat. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 569401.

Steiner, B. (2019). Herbario virtual fitopatologia. Fusariosis de la espiga del trigo Recuperado de (*Fusarium graminearum*): https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=222

Toño, A. (2023). *El trigo*. Recuperado de https://studylib.es/doc/882 0327/el-trigo

Troiani, H., Prina, A., & Muiño, W. (2017). Botanica, morfología, taxonomía y fitogeografía. 44-50. Recuperado de http://www.unlpam.edu.ar/images/extension/edunlpam/QuedateEnCasa/botanica-morforlogia-taxonomia-y-fitogeografia.pdf

Vega, L. (11 de Agosto de 2020). Germen de Trigo: Propiedades, Beneficios y Valor Nutricional. Recuperado de Millin Gandgrain: https://millingandgrain.co/entrada/germen-de-trigo-propiedade s-beneficios-y-valor-nutricional-22826

Velásquez, J., & Jimenez, C. (2022). *Manual para la producción sostenible de trigo en la Sierra ecuatoriana* (pág. 47). Quito-Ecuador. Recuperado de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/MANUAL%20PARA%20LA%20PRODUCCIÓN%20SOSTENIBLE%20DE%20TRIGO%20EN%20LA%20SIERRA%20ECUATORIANA_opt.pdf

Vera, C., & Madariaga, R. (2017). Fitopatología - Enfermedades en cultivos: *Septoriosis* de la hoja del trigo. Recuperado de INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS – INIA: https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/66995/NR42119.pdf?sequence=1

Vignette, D. (2019). El Trigo: origen, propiedades, beneficios y todo lo que necesitas saber. Recuperado de https://estaeslahistoria.com/c-cereales/el-trigo/?expand_article=1#google_ vignette

Yara. (2023). La producción mundial de trigo. Recuperado de Knowledge grows: https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/trigo/

Zamora, D. (2017). Manejo integrado de las enfermedades de trigo *(Blumeria graminis)*. Recuperado de https://www.sinavimo .gob.ar/plaga/blumeria-graminis

Zhang, G. X., Zhao, D. H., Fan, H. Z., Liu, S. J., Liao, Y. C., & Juan, H. A. N. (2023). Combining controlled-release urea and normal urea with appropriate nitrogen application rate to reduce wheat stem lodging risk and increase grain yield and yield stability. *Journal of Integrative Agriculture*, *22*(10), 3006-3021.

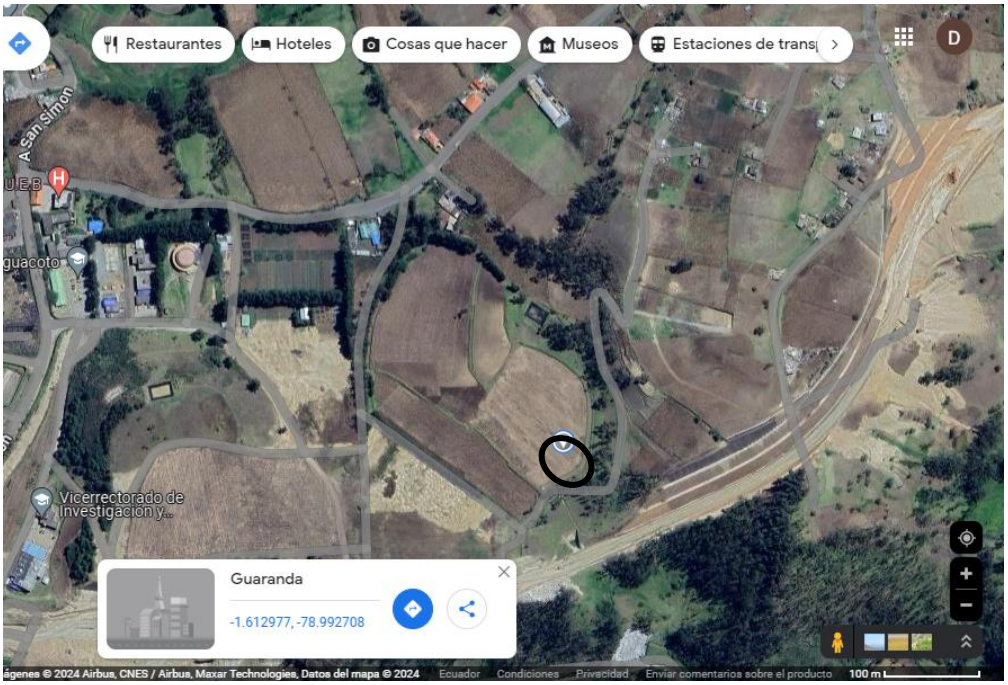
Zheng. (10 de Octubre de 2018). ¿Qué es el impacto de la nieve y el frío en la producción de trigo? Recuperado de https://metos.at/es/impact-of-snow-and-cold-on-wheat-production/#:~:text=El%20trigo%20crece%20en%20zonas%20con%20precipitaciones%20de%20250%20-%201750%20mm.

Anexos

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de la investigación





Universidad Estatal de Bolívar (Laguacoto III)

Anexo 2. Croquis del ensayo



Anexo 3. Resultados de Análisis fisicoquímicos

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 4. Bases 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




Delimitación de las unidades

experimentales e inoculación de semilla de trigo para siembra




Primera fertilización




Segunda fertilización




Evaluación de severidad de Manchas foliares, roya y fusarium



Visita de campo



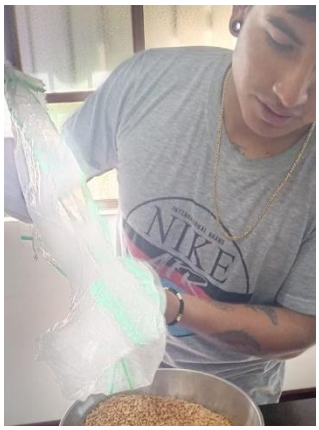

Muestreo de suelo para determinación de densidad radicular




Cosecha de las Unidades Experimentales




Trillado y aventado del trigo







Determinación del contenido de humedad, Peso Hectolítrico y rendimiento

Anexo 6. Glosario de términos técnicos

***Bacillus* spp. -** Se refiere a un grupo de bacterias pertenecientes al género *Bacillus*. Estas bacterias son Gram positivas, esporuladas y aerobias facultativas, lo que significa que pueden formar esporas y tienen la capacidad de crecer tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

Carbohidratos. – Son moléculas de azúcar. Junto con las proteínas y las grasas, los carbohidratos son uno de los tres nutrientes principales que se encuentran en alimentos y bebidas. Su cuerpo descompone los carbohidratos en glucosa.

Coleóptilo. – Es la estructura inicial de la cual emerge inicialmente desde la semilla hacia arriba.

Convexo. – Se dice de la superficie, línea o curva que tiene su parte central sobresaliente, similar al exterior de una taza o de un círculo.

Coriáceas. – Se refiere a una característica morfológica de las hojas de las plantas. En botánica, las hojas coriáceas son aquellas que tienen una textura gruesa, firme y casi cuero, similar a la piel de algunos frutos. Esta textura se debe a la presencia de una capa epidérmica densa y células de parénquima compactas, lo que les proporciona resistencia y rigidez.

Deoxinivalenol. - Abreviado comúnmente como (DON), es una micotoxina perteneciente al grupo de los tricotecenos, producida principalmente por hongos del género Fusarium. Estos hongos pueden infectar granos y cereales como el trigo, la cebada, el maíz y el arroz, especialmente en condiciones de humedad y temperatura adecuadas durante el crecimiento y almacenamiento de los cultivos.

Endosporas. – Espora bacteriana altamente resistente al calor, las radiaciones y los desinfectantes. Es producida en el interior de la célula bacteriana por los géneros *Clostridium*, *Bacillus* y otros gram-positivos próximos.

Fasciculadas. – Agrupado desde un mismo punto en las hojas de las Angiospermas, formando como manojos, según se puede observar en las ramitas incipientes de muchas plantas.

Fibras. – Se refiere al tejido compuesto de células filiformes (con forma de hilo largo).

Filotaxia. – Ordenación de las hojas alrededor de un tallo, de Phillon, hoja y Taxis, ordenación. En un sentido más amplio, la filotaxis es la rama de la botánica que

estudia la distribución de los elementos de una planta: flores, hojas, semillas, ramas, etc.

Haustorios. - Son estructuras especializadas que facilitan la absorción de nutrientes por parte de las plantas parásitas desde las plantas huéspedes.

Indehiscente. – Se dice del fruto cuyo pericarpio no se abre espontáneamente para que puedan salir las semillas.

Micorrizas. - Son asociaciones simbióticas mutualistas entre hongos y las raíces de la mayoría de las plantas terrestres. Esta relación simbiótica es beneficiosa tanto para los hongos micorrícicos como para las plantas involucradas.

Moler. – Se refiere al acto de reducir algo a partículas más pequeñas o fragmentos mediante el uso de una fuerza física, generalmente aplicada con el uso de herramientas como molinos, morteros, trituradoras u otros dispositivos diseñados para este propósito.

Multiespecie. – Se refiere a la presencia o interacción de múltiples especies diferentes en un mismo ecosistema, hábitat o sistema agrícola. Este concepto es fundamental en ecología y agricultura, donde la diversidad de especies puede tener diversos efectos ecológicos, agronómicos y económicos.

Nucleoproteínas. – Es una proteína que está estructuralmente asociada con un ácido nucleico (que puede ser ARN o ADN).

Panificable. – Porción de masa de harina, por lo común de trigo, y agua que se cuece en un horno y sirve de alimento.

Paralelinervias. – Hojas en las que no hay un nervio principal y todos los nervios discurren paralelos.

Parenquimático. – Tejidos vegetales fundamentales que prevalecen en la mayoría de los órganos vegetales formando un todo continuo.

Pulverulenta. – Se refiere a una característica o condición de estar cubierto de polvo o de tener una textura similar al polvo. Esta palabra proviene del latín "pulverulentus", que significa "polvoriento".

Rizobacterias. – Representan una alternativa biotecnológica en la agricultura principalmente por la gran cantidad de mecanismos moleculares que permiten mejorar el rendimiento y la salud de las plantas.

Rizosfera. – Considerada como el ecosistema terrestre más grande, es la parte del suelo próxima a las raíces de la planta.

Severidad. - Es una estimación visual en la cual se establecen grados de infección en una determinada planta, sobre la base del tejido enfermo.

Solubilizar. – Transformar químicamente una sustancia de tal modo de que pase de insoluble a soluble para un solvente dado.

Subsidios. - Es la diferencia entre el precio real de un bien o servicio y el precio real cobrado al consumidor de estos bienes o servicios.

Susceptibles. – Organismos o sistemas que son propensos o vulnerables a sufrir ciertos efectos adversos o daños. El término implica una mayor probabilidad de ser afectado negativamente por algún factor específico, ya sea una enfermedad, un agente patógeno, un riesgo ambiental, entre otros.

Tetraploide. – Es una anomalía cromosómica poliploide muy poco frecuente, en la que un individuo afectado presenta cuatro copias de cada cromosoma, en lugar de dos.

Urediniosporas. – Esporas generadas a partir de la mitosis de micelio dicariótico y que son típicamente repetitivas, dando lugar a nuevas uredosporas o teliosporas.

Viabilidad. – Se refiere a la capacidad de una entidad biológica (como una semilla, un órgano, un individuo o una población) para sobrevivir y reproducirse en condiciones específicas.