



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agronomía

Tema:

EFECTO DE LA INOCULACIÓN MULTIESPECIE CON *Paenibacillus polymyxa* 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

Jonathan Steven Fogacho Pillajo

Tutora

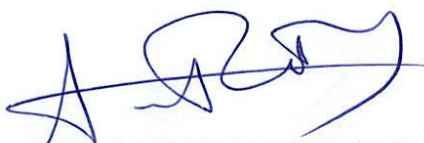
Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos

Guaranda – Ecuador

2025

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

REVISADO Y APROBADO POR:



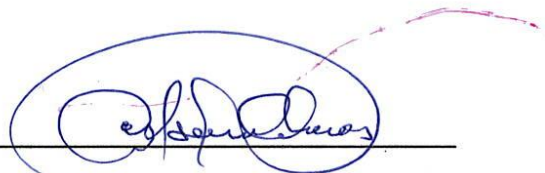
Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos

TUTORA



Ing. David Rodrigo Silva García Mg.

DOCENTE LECTOR



Ing. Nelson Arturo Monar Gavilanez Mg.

DOCENTE LECTOR



CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Jonathan Steven Fogacho Pillajo, con CI 1725973968, declaro que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

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

Jonathan Steven Fogacho Pillajo

CI:1725973968

AUTOR

Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos

CI: 0604084871

TUTORA



ESCRITURA N° 20240201004P01343

DECLARACIÓN JURAMENTADA

OTORGA:

JONATHAN STEVEN FOGACHO PILLAJO.

CUANTÍA: INDETERMINADA

Di 2 COPIA

G.C.

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy martes a los diez días del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, ante mi **DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRION, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA**, comparece con plena capacidad, libertad y conocimiento, a la celebración de la presente escritura, el señor **JONATHAN STEVEN FOGACHO PILLAJO**, de estado civil soltero, por sus propios y personales derechos en calidad de OTORGANTE. El compareciente declara ser de nacionalidad ecuatoriana, mayor de edad, de estado civil como se deja expresado, de ocupación estudiante, domiciliado parroquia Guamaní, cantón Quito, provincia Pichincha y de paso por este cantón de Guaranda, Provincia de Bolívar, con número celular cero nueve tres nueve cuatro siete tres siete seis nueve; y, con correo electrónico **stevenfogacho11@hotmail.com**; hábil en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quien de conocer doy fe, en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación cuyas copias fotostáticas debidamente certificadas por mí, agrego a esta escritura, a petición del compareciente se adjunta sus documentos personales como son la cedula y el certificado de votación, como habilitantes. Advertido el compareciente por mí la Notaria de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinado que fue en forma aislada y separada de que comparece al otorgamiento de esta escritura sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción instruidos por mí de la obligación que tienen de decir la verdad con claridad y exactitud; y, advertidos sobre la gravedad del juramento y de las penas de perjurio, me solicita que recepte su declaración juramentada. Yo **JONATHAN STEVEN FOGACHO PILLAJO**, de estado civil soltero, declaro bajo juramento que los criterios e ideas emitidos en el presente proyecto de investigación, es de mi absoluta autoría, titulado: EFECTO DE LA INOCULACIÓN MULTIESPECIE CON *Paenibacillus polymyxa* Y MICORRRIZAS FRENTE AL MANEJO RESTRICTIVO DE NUTRIENTES SOBRE LA SANIDAD Y EL RENDIMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.). 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.- Es todo cuanto puedo declarar en honor a la verdad.- Para su otorgamiento se observaron los preceptos de ley que el caso requiere y leída que le fue íntegramente al compareciente por mí la Notaria, aquel se afirman y ratifican en la aceptación de su total contenido y firma junto conmigo en unidad de acto, incorporándose al protocolo de esta Notaria la presente escritura de Declaración Juramentada, de todo lo cual doy Fe.-----



SR. JONATHAN STEVEN FOGACHO PILLAJO.
C.C. 1725973968




DOCTORA MSc. GINA CLAVIJO CARRION
NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA



tesis Jonathan

Tesis-Jonathan Fogacho-Cultivo de trigo.docx

 Universidad Estatal de Bolívar

Detalles del documento

Identificación de la entrega
tm:oid::3117:415011553

93 Páginas

Fecha de entrega
11 dic 2024, 9:39 a.m. GMT-5

19,254 Palabras

Fecha de descarga
11 dic 2024, 2:04 p.m. GMT-5

108,494 Caracteres

Nombre de archivo
Tesis-Jonathan Fogacho-Cultivo de trigo.docx

Tamaño de archivo
5.1 MB




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
- ▶ Base de datos de contenido publicado de Crossref

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 7%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º 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.



Dra. Andrea Elizabeth Román Ramos
Tutora

DEDICATORIA

A Dios, quien con su infinita sabiduría y amor ha guiado cada uno de mis pasos, dándome la fortaleza necesaria para superar los desafíos y alcanzar mis metas. Gracias por ser mi faro en los momentos de oscuridad y por ser en mí la paz y perseverancia en cada paso del camino.

A mis padres, por su amor incondicional y por el esfuerzo constante que han dedicado para brindarme lo mejor en cada momento de mi vida. Gracias por enseñarme que el trabajo arduo, la perseverancia y el sacrificio son las claves para alcanzar cualquier meta. Su dedicación y entrega han sido fundamentales para que hoy esté aquí, logrando este paso tan importante. Su ejemplo de esfuerzo y fortaleza sigue siendo mi mayor inspiración.

A mis hermanas, por su apoyo constante. Gracias por su amor, por su confianza y por estar siempre presentes, motivándome a ser mejor cada día. Su presencia es un tesoro que valoro profundamente.

A mi novia, por ser mi compañera incansable, mi soporte en cada desafío y la razón por la que cada paso de este camino ha valido la pena. Gracias por tu amor, por tu fortaleza y por estar siempre a mi lado, motivándome y dándome el coraje para seguir adelante. Eres todo lo que está bien en este mundo, y sin ti, este logro no hubiera sido posible. A Kira, mi perrita fiel, que con su ternura y energía ha sido una fuente constante de alegría y consuelo, recordándome siempre la importancia de disfrutar cada momento y nunca rendirse.

Jonathan

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta investigación. Este logro no habría sido alcanzado sin el apoyo, el acompañamiento y la dedicación de quienes estuvieron a mi lado a lo largo de todo el proceso.

Mi agradecimiento a la Universidad Estatal de Bolívar, especialmente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, por brindarme las herramientas necesarias para realizar esta investigación. A los docentes, por su orientación y dedicación, y a mis compañeros, por su apoyo y colaboración a lo largo de este proceso.

Mi más sincero agradecimiento a la Doc. Andrea Román Ramos, mi tutora, por su valioso apoyo y orientación durante todo el proceso. Su dedicación, paciencia y conocimientos fueron clave para el desarrollo de esta investigación. Gracias por su constante acompañamiento y por su compromiso con mi formación académica.

A mi familia, mi más sincero agradecimiento por su apoyo incondicional y su amor constante. A mis padres, por ser mi mayor fuente de fortaleza, por su sacrificio, y por enseñarme a nunca rendirme. Gracias por su confianza y por siempre estar a mi lado en cada paso de este proceso. A mis hermanas, por su cariño, comprensión y por ser mi refugio en los momentos de dificultad. Y a mi novia, por ser mi compañera incansable, por su apoyo, paciencia y amor, que me dieron la motivación necesaria para continuar adelante. A todos ustedes, gracias por ser mi mayor inspiración y por acompañarme en cada etapa de este camino.

Jonathan

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pag.
CAPÍTULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	4
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivo específico.....	5
1.4. HIPÓTESIS.....	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEORICO.....	7
2.1. Origen e Historia.....	7
2.2. Clasificación taxonómica del cultivo de trigo.....	7
2.3. Importancia económica y social del trigo en Ecuador	8
2.4. Características Morfológicas.....	8
2.4.1. Sistema Radicular.....	8
2.4.2. Tallo	8
2.4.3. Hoja.....	8
2.4.4. La inflorescencia	9
2.4.5. Semilla.....	9
2.5. Ciclo vegetativo del cultivo	9
2.5.1. Germinación.....	10
2.5.2. Ahijamiento.....	10
2.5.3. Encañado.....	10
2.5.4. Espigado.....	11
2.5.5. Maduración	11
2.6. Parámetros de evaluación y selección de cereales	11
2.6.1. Escala de Zadoks.....	11
2.7. Líneas promisorias de trigo.....	12
2.8. Valor nutricional	12
2.9. Requerimientos edafoclimáticos	13
	VI

2.9.1.	Temperatura	13
2.9.2.	Heliofanía.....	13
2.9.3.	Humedad	14
2.9.4.	Suelo.....	14
2.9.5.	Pluviosidad.....	14
2.9.6.	pH.....	14
2.10.	Manejo del cultivo de trigo	15
2.10.1.	Análisis del suelo	15
2.10.2.	Preparación del suelo	15
2.10.3.	Siembra	16
2.10.4.	Fertilización.....	16
2.10.5.	Control de maleza	17
2.10.6.	Cosecha y Trilla	17
2.10.7.	Post cosecha o Almacenado	17
2.10.8.	Almacenamiento	18
2.11.	Plagas	18
2.11.1.	Gusano de alambre (<i>Agriote</i> sp.).....	18
2.11.2.	Pulgones (<i>Myzus persicae</i>).....	18
2.11.3.	Polilla de cereal (<i>Cnphasia pumicana</i>)	19
2.12.	Enfermedades.....	19
2.12.1.	Roya Amarilla (<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>).....	19
2.12.2.	Roya de la Hoja (<i>Puccinia recondita</i> f. sp. <i>tritici</i>).....	20
2.12.3.	Roya del tallo (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>)	22
2.12.4.	Fusariosis.....	23
2.12.5.	Virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV).....	24
2.12.6.	Carbón	25
2.13.	Nutrición	26
2.14.	Fijación de nitrógeno.....	27
2.14.1.	Bacterias fijadoras de nitrógeno.....	28
2.14.2.	<i>Paenibacillus polymyxa</i> como fijador de nitrógeno.....	28
2.15.	Micorrizas	29

CAPÍTULO III.....	30
3. MARCO METODOLÓGICO	30
3.1. Ubicación de la investigación	30
3.2. Metodología	31
3.2.1. Material en estudio.....	31
3.2.2. Factores en estudio.....	31
3.2.3. Tratamientos.....	31
3.2.4. Tipo de diseño experimental o estadístico	32
3.2.5. Manejo de la investigación.....	32
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. Interpretación de resultados	40
4.1.1. Análisis de variables agronómicas.....	40
4.1.2. Análisis de variables sanitarias	44
4.1.3. Análisis de variables de rendimiento	48
4.1.4. Análisis Económico	51
4.2. Comprobación de hipótesis	54
CAPÍTULO V	55
5.1. CONCLUSIONES	55
5.2. RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pag.
1	Resultados del análisis de varianza del PE, NM, DR y AP.	40
2	Resultados del análisis de varianza de SEVMa, SEVRo y SEVFu.	44
3	Resultados del análisis de varianza de REN, PM y PH.	48
4	Presupuesto parcial para los tratamientos en estudio.	51
5	Análisis de dominancia para los tratamientos en estudio.	52
6	Tasa de retorno marginal.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Detalle	Pag.
1	Porcentaje de emergencia.	41
2	Densidad Radicular (cm cm ⁻³).	42
3	Altura de la planta (cm).	43
4	Severidad de manchas foliares.	45
5	Severidad de roya.	46
6	Severidad de fusarium.	47
7	Rendimiento kg ha ⁻¹ .	49

ÍNDICE DE ANEXOS

N°	Detalle
1	Mapa de la ubicación del ensayo.
2	Croquis del ensayo.
3	Base de datos
4	Análisis de suelo
5	Imágenes del manejo de la investigación
6	Glosario de términos técnicos.

RESUMEN

El cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) es fundamental para la seguridad alimentaria en diversas regiones del mundo, incluida la sierra ecuatoriana, donde enfrenta desafíos significativos como enfermedades, plagas y bajos niveles de fertilización, lo que impacta su rendimiento y calidad. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación multiespecie con *Paenibacillus polymyxa* y micorrizas, junto con distintos niveles de fertilización, sobre la sanidad y el rendimiento del trigo en la provincia de Bolívar. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo bifactorial 2×5 y tres repeticiones. Los resultados indicaron que la inoculación con *Paenibacillus polymyxa* y micorrizas, combinada con un manejo adecuado de los nutrientes, mejoró significativamente las variables agronómicas evaluadas, como la emergencia de las semillas, la densidad radicular y la altura de las plantas. Los tratamientos T6 y T8, que incluían la inoculación y niveles de nutrientes del 100 % y 50 %, respectivamente, mostraron los mejores resultados, destacando especialmente el tratamiento T6, que alcanzó un rendimiento de 5381,29 kg ha⁻¹, además de reducir la severidad de enfermedades como la fusariosis y la roya. Sin embargo, el tratamiento T6 implicó un mayor costo variable, lo que afectó su rentabilidad, aunque resultó ser la opción más eficaz en términos de productividad y calidad del cultivo. Por otro lado, el tratamiento T5, que no incluyó inoculación y utilizó un 0 % de fertilización, fue el más rentable, aunque presentó un rendimiento menor. En conclusión, la inoculación multiespecie, junto con una gestión adecuada de los nutrientes, demostró ser una estrategia prometedora para mejorar el rendimiento y la sanidad del trigo, aunque la viabilidad económica está influenciada por los altos costos de producción.

Palabras clave: Inoculación, Micorrizas, Restricción, Rendimiento

SUMMARY

Wheat cultivation (*Triticum aestivum* L.) is essential for food security in various regions of the world, including the Ecuadorian highlands, where it faces significant challenges such as diseases, pests, and low fertilization levels, which impact both yield and quality. This study aimed to evaluate the effect of multi-species inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and mycorrhizae, along with different fertilization levels, on the health and yield of wheat in Bolívar province. A randomized complete block design (RCBD) with a 2×5 factorial arrangement and three replications was used. The results showed that inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and mycorrhizae, combined with proper nutrient management, significantly improved agronomic variables such as seed emergence, root density, and plant height. Treatments T6 and T8, which included inoculation and nutrient levels of 100 % and 50 %, respectively, showed the best results. Treatment T6 stood out in particular, achieving a yield of 5,381.29 kg ha⁻¹ and reducing the severity of diseases like fusarium and rust. However, T6 involved higher variable costs, affecting its profitability, although it proved to be the most effective option in terms of productivity and crop quality. On the other hand, treatment T5, which did not include inoculation and used 0 % fertilization, was the most cost-effective, despite its lower yield. In conclusion, multi-species inoculation, combined with proper nutrient management, proved to be a promising strategy for improving wheat yield and health, although its economic viability is influenced by high production costs.

Keywords: Inoculation, Mycorrhizae, Restriction, Yield

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) se posiciona como un pilar fundamental en la seguridad alimentaria global, compartiendo protagonismo con el arroz y el maíz. Su alcance es global, cultivándose en diversas regiones y adaptándose a una amplia gama de condiciones climáticas y de suelo. Con una producción anual que supera los 700 millones de toneladas, China, India, Rusia y Estados Unidos lideran como principales productores. Su versatilidad y capacidad de adaptación lo convierten en un recurso alimentario en la nutrición global y la seguridad alimentaria (FAO, 2024).

El cultivo de trigo en Ecuador, desempeña un papel vital en la economía agrícola y la seguridad alimentaria en la Sierra ecuatoriana. Las provincias como Carchi, Bolívar, Pichincha, Chimborazo e Imbabura, son centros neurálgicos de esta actividad. Sin embargo, la productividad es baja con 2 toneladas por hectárea en Ecuador comparada con el promedio 4 toneladas por hectárea a nivel mundial (SIPA, 2021). En el año 2020 el Ecuador importó 1.3 millones de toneladas de trigo, lo que demuestra la necesidad de aplicar estrategias agronómicas efectivas para mejorar la productividad y fortalecer la contribución del trigo a la seguridad alimentaria en Ecuador (Yanez Rios, 2020). En el año 2021, 1164 ha se dedicaron al cultivo de trigo en los cantones principales de Guaranda, Chimbo, San Miguel y Chillanes, con una superficie cosechada de 1101 ha con una producción de 1578 t y un rendimiento promedio de 1.44 t ha^{-1} , frente a la necesidad del Ecuador (SIPA, 2021).

El desarrollo saludable y productivo del trigo está intrínsecamente vinculado a la disponibilidad y equilibrio adecuado de nutrientes. Este cereal requiere una combinación precisa de macro y micronutrientes para lograr su máximo potencial de rendimiento. Entre los macronutrientes esenciales se encuentran el nitrógeno, fósforo y potasio, fundamentales para el crecimiento vegetativo, desarrollo radicular y formación de granos. Además, micronutrientes como el zinc, hierro y

manganeso desempeñan roles cruciales en procesos enzimáticos y metabolismo celular (Martínez & Espitia, 2021). La calidad del suelo y las prácticas de fertilización son determinantes para asegurar que el trigo tenga acceso óptimo a estos nutrientes, maximizando así su capacidad para resistir enfermedades, enfrentar condiciones climáticas adversas y producir granos de alta calidad. La comprensión y gestión adecuada de los requerimientos nutricionales del trigo son elementos fundamentales para garantizar la productividad y sostenibilidad a lo largo de su ciclo de crecimiento (Robles & Chaparro, 2021).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno juegan un papel esencial en el cultivo de trigo, contribuyendo a su crecimiento saludable y sostenible. Estas bacterias, principalmente del género (*Azotobacter* y *Rhizobium*), convierten el nitrógeno atmosférico en formas utilizables por las plantas y forman simbiosis con las raíces del trigo, proporcionando nitrógeno adicional y mejorando la absorción de nutrientes. Esta asociación reduce la dependencia de fertilizantes, fortalece la resistencia a enfermedades y aumenta el rendimiento del cultivo. Inocular semillas con estas bacterias es una estrategia prometedora para mejorar la eficiencia del trigo, especialmente en entornos con limitaciones de nitrógeno (Angel & Martínez, 2023).

Por otra parte, las micorrizas son reconocidos protagonistas del grupo de hongos benéficos del suelo, los hongos formadores de micorrizas tienen la característica de depender exclusivamente de raíces vivas para poder llevar a cabo su ciclo vital y la planta destina hasta un 20% de sus fotoasimilados para mantener la simbiosis. Las micorrizas ocurren en cultivos de importancia agrícola tales como soja, trigo y maíz (Faggioli, 2023).

Las micorrizas desempeñan un papel crucial en el cultivo de trigo. Su simbiosis con las raíces de las plantas no solo mejora la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, sino que también fortalece la resistencia del trigo a enfermedades y condiciones ambientales adversas (Castillo, 2020). Al combinar *Paenibacillus polymyxa* y micorrizas, buscamos potenciar aún más la capacidad del trigo para

aprovechar los nutrientes presentes en el suelo y mejorar su capacidad para enfrentar desafíos bióticos y abióticos.

De esta forma, la inoculación multiespecie aprovecha las ventajas tanto de las micorrizas como de las bacterias (*Paenibacillus polymyxa*) para potenciar la salud y el rendimiento del trigo. Mientras que las micorrizas facilitan la absorción de nutrientes del suelo, la bacteria (*Paenibacillus polymyxa*) puede suministrar nutrientes adicionales y protección contra los patógenos del suelo (Giuliano & Carpentieri, 2020).

1.2. PROBLEMA

El cultivo de trigo en la provincia de Bolívar enfrenta varios desafíos tanto técnicos como socioeconómicas que afectan el desarrollo del cultivo, enfermedades, plagas y baja tecnificación en sistemas de fertilización hacen que el cultivo no tenga el rendimiento y calidad adecuado demandado por la industria.

La limitada información sobre la mejora de la microbiota reduce la capacidad de los cultivos para extraer de forma eficiente los nutrientes, lo que resulta en gastos más altos para los productores. Sin embargo, la utilización de microorganismos en la agricultura demuestra que el suelo es un ente vivo donde se producen innumerables interacciones.

En este respecto, surge la necesidad de usar bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas al sembrar las semillas, para que de esta forma se pueda beneficiar en la absorción de nutrientes que son incorporados en los suelos y reducir la necesidad de fertilizantes costosos.

De esta forma con la inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas se espera que al ser aplicado en los cultivos los agricultores se beneficien con incremento de la productividad, mejora en la resistencia a enfermedades y eficiencia en la absorción del nitrógeno convirtiéndose en una estrategia integral para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del cultivo de trigo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la inoculación multiespecie con *Paenibacillus polymyxa* y Micorrizas frente al manejo restrictivo de nutrientes sobre la sanidad y el rendimiento en el cultivo de trigo.

1.3.2. Objetivo específico

- Evaluar la capacidad de los inoculantes multiespecie para colonizar 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

H0: La inoculación multiespecie con *Paenibacillus polymyxa* y micorrizas de semillas de trigo y la restricción de nutrientes no incide positivamente sobre la sanidad y el rendimiento.

H1: La inoculación multiespecie con *Paenibacillus polymyxa* y micorrizas de semillas de trigo y la restricción de nutrientes incide positivamente sobre la sanidad y el rendimiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Origen e Historia

La agricultura neolítica se originó en la región de la Creciente o Media Luna Fértil hace entre 7000 y 10000 años a.C., destacándose en la Mesopotamia del Tigris y Éufrates. Este período marcó la domesticación de cabras y ovejas, así como el cultivo de trigo, centeno y cebada. En el norte de Siria, restos arqueológicos revelan la presencia de especies silvestres y cultivadas de trigo como *T. monococcum* y *T. turgidum*, los cuales se difundieron en el Cercano Oriente, extendiéndose luego a Egipto, Etiopía, India y Europa Central. *T. turgidum* prevaleció hasta el 1000 a.C., siendo sucedido por *T. turgidum* ssp. y *T durum*. El trigo siguió dos rutas hacia Europa, una a través del Danubio y del Rin y la otra a lo largo del Mediterráneo. Se expandió por Asia y África, llegando a China y Egipto alrededor de 3000 a.C. y siendo introducido por los españoles en México en 1529 y en Australia en 1788 (Bevan & Uauy, 2021).

2.2. Clasificación taxonómica del cultivo de trigo

Comprende alrededor de 30 tipos de trigo que tienen suficientes diferencias genéticas como para ser consideradas especies distintas o subespecies (Muñoz, 2022).

Taxonomía

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Pooideae
Tribu	Tririceae
Género	<i>Triticum</i>
Especie	<i>aestivum</i>
Nombre científico	<i>Triticum aestivum</i> L.

Fuente: (Sandoval, 2020).

2.3. Importancia económica y social del trigo en Ecuador

El trigo no es un cultivo de importancia agrícola en el Ecuador, pero, junto con el arroz y la cebada, es el grano más importante del país, con un consumo de más de 450.000 toneladas por año, lo que corresponde a un consumo per cápita de unos 30 kg por año (Ponce & Garófalo, 2022).

Según ASEMOL (2020), La producción de trigo en el país fue de 5803 toneladas, lo que representó el 0.5% del requerimiento total de trigo. Por tanto, el país tiene que importar trigo para satisfacer la demanda nacional.

2.4. Características Morfológicas

2.4.1. Sistema Radicular

La raíz es fasciculada, consta de raíces seminales y adventicias o secundarias, las primeras en número de 3 a 8 siendo de origen embrionario, finas, ramificadas y ricas en pelos radicales (Martínes, 2024).

Las raíces del trigo pueden tener raíces de hasta 1.5 m de profundidad si el suelo es lo suficientemente suelto (Sampietro, 2023).

2.4.2. Tallo

El tallo del trigo se caracteriza por ser recto y cilíndrico, con una naturaleza herbácea, escasamente ramificado y con un interior hueco. Por lo general, exhibe alrededor de seis nudos a lo largo de su estructura. La longitud del tallo varía entre 60 y 120 cm, aunque este rango puede estar sujeto a variaciones según la especie específica de trigo cultivada (Apaza & Quispe, 2022).

2.4.3. Hoja

Las hojas del trigo presentan una forma alargada y recta, con extremos puntiagudos y una longitud típica de 15 a 25 cm. Cada planta generalmente posee entre 4 y 6 hojas, y en cada nudo del tallo emerge una nueva hoja. Destacan las aurículas, prolongaciones laterales en el cuello, que contribuyen a la identificación

característica de estas plantas. Estas características anatómicas de las hojas del trigo son fundamentales para su función fotosintética y para su clasificación dentro de las especies de cereales (Delgado & Ammar, 2023).

2.4.4. La inflorescencia

Con el completo desarrollo del tallo, la espiga emerge envuelta por la última hoja. Estas espigas, que contienen de 15 a 25 espiguillas dispuestas de manera alternativa a derecha e izquierda a lo largo de un raquis, son una característica distintiva (Silvestre, 2021).

Cada espiguilla se compone de dos brácteas externas llamadas glumas y alberga entre tres y cinco antecios en una raquilla. Cada antecio, a su vez, está formado por una lemma, una pálea y una flor. En términos de fertilidad, uno a dos antecios suele ser estériles, mientras que se generan un máximo de dos a tres flores fértiles por espiguilla (Giraldo, 2023).

2.4.5. Semilla

El fruto del trigo es un grano ovoide (semilla) con una ranura en la parte ventral, protegido por el pericarpio. La mayor parte del grano está formada por el endospermo, que almacena las sustancias de reserva. El pericarpio, envoltura de la semilla, tiene tres partes: epicarpio, mesocarpio y endocarpio, con las capas externas a menudo desprendiéndose durante el procesamiento (Gernetti, 2022).

2.5. Ciclo vegetativo del cultivo

El ciclo vegetativo del trigo se divide en tres períodos distintos según (Riofrio, 2022).

- **Período Vegetativo:** Este abarca desde la siembra hasta el inicio del encañado, durante el cual la planta experimenta un crecimiento vegetativo significativo.
- **Período de Reproducción:** Desde el encañado hasta la culminación del espigado, este período se centra en el desarrollo reproductivo de la planta, incluyendo la formación de la espiga.

- **Período de Maduración:** Desde el final del espigado hasta la cosecha, este periodo marca la maduración de la planta y la preparación de los granos para la recolección. Cada etapa del ciclo desempeña un papel crucial en el desarrollo y la producción final del trigo.

2.5.1. Germinación

El período de germinación y arraigo del trigo es esencial para el éxito de la futura cosecha de granos. Durante esta fase, el grano de trigo requiere condiciones óptimas que incluyen la presencia de humedad, una temperatura adecuada y un entorno con acceso al aire. Estas condiciones propician el proceso de germinación, que establece las bases para el desarrollo saludable de la planta y, en última instancia, para una cosecha productiva de trigo (Franco, 2024).

2.5.2. Ahijamiento

El tallo del trigo se presenta como una caña con nudos y entrenudos distintivos. Cada nudo en el tallo alberga una yema que dará origen a una hoja. Durante el proceso de crecimiento, especialmente en la fase de encañado, los entrenudos del tallo se alargan, y se nota que cada hoja emerge a diferentes alturas en nudos sucesivos. Este patrón de crecimiento característico del trigo contribuye a su estructura única y a la disposición escalonada de las hojas a lo largo del tallo (Vásquez & Sotaminga, 2023).

2.5.3. Encañado

El encañado del trigo ocurre con el aumento de las temperaturas, momento en el cual los nudos ya no generan brotes y los entrenudos del tallo comienzan a alargarse. Este fenómeno es esencialmente el resultado del crecimiento del tallo mediante la elongación de los entrenudos. En esta etapa, la planta experimenta cambios significativos en su estructura, preparándose para las fases siguientes de su desarrollo y contribuyendo a su maduración (Aranguren, 2021).

2.5.4. Espigado

El período de espigado se caracteriza por una intensa actividad fisiológica. Durante esta fase, la planta exhibe una transpiración máxima y una extracción máxima de humedad y nutrientes del suelo. Este período marca un punto culminante en la demanda de recursos por parte de la planta, ya que se concentra en la formación y desarrollo de la espiga, un componente crucial para la posterior producción de granos. La elevada actividad fisiológica durante el espigado refleja la importancia crítica de esta etapa en la preparación de la planta para la fase de maduración y, eventualmente, la cosecha (Valdez & Conde, 2024).

2.5.5. Maduración

El periodo de maduración del trigo inicia con la madurez láctea, caracterizada por la sequedad de las hojas inferiores mientras que las tres superiores y el resto de la planta permanecen verdes. Posteriormente, se presenta la "maduración pastosa", donde solo los nudos mantienen su color verde y el resto de la planta adquiere el tono característico del trigo seco, mientras que los granos alcanzan su color definitivo. Estas fases marcan el proceso de maduración gradual de la planta de trigo, preparándose para la etapa final de la cosecha (Montesdeoca, 2023).

2.6. Parámetros de evaluación y selección de cereales

2.6.1. Escala de Zadoks

La escala de Zadoks es la más utilizada en el cultivo de trigo y sólo describe estados morfológicos externos del cultivo, que involucran algunos procesos de desarrollo y otros de crecimiento. Estos estados deberían ser tomados en cuenta cuando se analizan los estados y procesos de desarrollo y los factores que los regulan y modifican (Minta, 2024).

Las fases de desarrollo del trigo según la escala de Zadoks se indica a continuación:

Etapa principal	Descripción	Sub – fase
Z0	Germinación	0.0 – 0.9
Z1	Producción de hojas TP	1.0 – 1.9
Z2	Producción de macollos	2.0 – 2.9
Z3	Producción de nudos TP (encañado)	3.0 – 3.9
Z4	Vaina engrosa	4.0 – 4.9
Z5	Espigado	5.0 – 5.9
Z6	Antesis	6.0 – 6.9
Z7	Estado lechoso del grano	7.0 – 7.9
Z8	Estado pastoso del grano	8.0 – 8.9
Z9	Madurez	9.0 – 9.9

Fuente: (ZADOKS et al., 1974)

2.7. Líneas promisorias de trigo

Se describe como una especie con un enorme potencial que aún no ha alcanzado reconocimiento a nivel global ni local, pero que muestra una gran capacidad en diversos ámbitos como la agricultura, ecología, medio ambiente, entre otros (Gallegos, 2024).

Una de las definiciones de especie vegetal promisoría la proporciona el Convenio Andrés Bello, que establece que el término se refiere a todas las especies de animales o plantas con potencial agrícola que aún no han sido ampliamente comercializadas. Escala de desarrollo. Incluye especies nativas que pueden tener una variedad de usos industriales como sustituto de materias primas o productos terminados, pero sin grandes avances en la domesticación de cultivos, procesamiento industrial y formas de mercado (Pichucho, 2022).

2.8. Valor nutricional

Cien gramos de semilla de trigo contienen aproximadamente 345 calorías. Desde el punto de vista de su aplicación industrial, el grano de trigo se puede dividir en tres

partes fundamentales: las cubiertas, el endosperma y el germen. Las cubiertas, que constituyen entre el 13% y el 17% del peso del grano en base seca, formarán el salvado durante el proceso de molienda. Las cubiertas incluyen el pericarpio en la capa más externa y la aleurona en la más interna. A diferencia del endosperma, las cubiertas tienen un mayor contenido de minerales y proteínas, aunque estas últimas no son formadoras de gluten. El endosperma, que es más del 80% del grano en base seca, es el componente más importante para el trigo como alimento. Está compuesto principalmente por gránulos de almidón inmersos en una matriz proteica. Por último, el germen, que representa entre el 2.0% y el 3.5% del grano, contiene un alto contenido de proteínas, grasas y vitaminas (Muñoz & Sierra, 2021).

2.9. Requerimientos edafoclimáticos

2.9.1. Temperatura

La temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo se sitúa entre 10 y 24 °C. Sin embargo, es crucial considerar la integral térmica, la cual resulta de la acumulación de grados días y varía según la variedad de trigo. Es importante mantener temperaturas moderadas, evitando extremos tanto en invierno como en primavera y durante la maduración. En condiciones de baja lluvia durante el ciclo de cultivo, una intensa precipitación en primavera puede dar lugar al asurado (Martínez, 2020).

2.9.2. Heliofanía

El trigo necesita mucha luz solar, especialmente durante la floración y el llenado de granos. Se estima que requiere alrededor de 1500 horas de sol para completar su ciclo, pero este número puede variar según la variedad y la época de siembra. La falta de luz solar puede afectar negativamente el ciclo de crecimiento, reduciendo el número y la calidad de los granos. Por lo tanto, una buena exposición al sol es esencial para el desarrollo y alto rendimiento (Marchisone, 2023).

2.9.3. Humedad

En años secos, se ha comprobado que el trigo puede desarrollarse de manera satisfactoria con cantidades de lluvia en el rango de 300 a 400 mm. Sin embargo, la clave para un buen desarrollo radica en la distribución de esta lluvia. Esta distribución favorece condiciones más propicias para el crecimiento y el desarrollo del cultivo, maximizando el rendimiento incluso en años con precipitación total relativamente baja (Ticona, 2022).

2.9.4. Suelo

El trigo prospera mejor en suelos que favorecen el desarrollo saludable del sistema radicular. Los suelos arcillosos, al ser poco permeables, retienen demasiada humedad, lo cual puede ser desfavorable durante temporales lluviosos. Por otro lado, los suelos arenosos requieren abundante lluvia debido a su baja capacidad de retención de agua. En términos generales, se recomienda un buen drenaje para las tierras de secano, independientemente del tipo de suelo, para asegurar condiciones óptimas para el crecimiento del trigo (Abbate & Villafañe, 2021).

2.9.5. Pluviosidad

El trigo requiere humedad adecuada en el suelo, pero no tolera el encharcamiento ni la sequía. El umbral mínimo de lluvias es de alrededor de 260 mm anuales, distribuidas de manera equitativa a lo largo del ciclo de crecimiento. Necesita más agua durante el macollamiento, la floración y el llenado de granos, y menos durante la germinación y la maduración. El exceso de lluvias puede ocasionar enfermedades, lanchado, caída y pudrición de las espigas, mientras que la falta de lluvias puede provocar estrés hídrico, aborto de flores y granos pequeños (Altamirano, 2021).

2.9.6. pH

El trigo tiende a tener un crecimiento deficiente en suelos ácidos; prefiere suelos neutros o ligeramente alcalinos. Esta preferencia no solo beneficia al trigo, sino

también a los microorganismos beneficiosos del suelo, los cuales prosperan más en suelos con niveles de acidez moderados o ligeramente alcalinos. Mantener un pH del suelo en el rango neutro o ligeramente alcalino contribuye a crear condiciones más favorables para el desarrollo saludable del trigo y para la actividad microbiana beneficiosa en el suelo (Tamayo, 2024).

2.10. Manejo del cultivo de trigo

2.10.1. Análisis del suelo

El muestreo del suelo, una tarea esencial para la planificación efectiva de la siembra, debe llevarse a cabo aproximadamente un mes antes de la siembra de trigo. Para ello, se realiza un recorrido por el lote con la elaboración de un croquis que señala los puntos de muestreo. Se recomienda tomar al menos 20 submuestras mediante un patrón zig-zag, abarcando un área no mayor a 5 hectáreas. Posteriormente, estas muestras se envían a un laboratorio especializado para someterlas a un análisis químico y físico del suelo. Este análisis proporciona información detallada sobre los nutrientes presentes y la textura del suelo. Adicionalmente, se puede solicitar al laboratorio recomendaciones específicas de fertilización, permitiendo una planificación precisa para asegurar condiciones óptimas para el éxito del cultivo de trigo (Cremona & Enriquez, 2020).

2.10.2. Preparación del suelo

La preparación del suelo para los cereales implica un intenso laboreo que inicia con la incorporación del material vegetal presente mediante un arado y una cruz. Este paso, realizado al menos un mes antes de la siembra, tiene como objetivo integrar la materia verde al suelo, convirtiéndola en materia orgánica beneficiosa para el cultivo. Antes de la siembra, se llevan a cabo las labores necesarias para asegurar que el suelo esté mullido y suelto, facilitando la distribución uniforme y a la misma profundidad de las semillas, promoviendo así una emergencia y uniformidad óptimas del cultivo. Además, se recomienda realizar dos pases de rastra pocos días antes de la siembra para completar el proceso de preparación del terreno (Valero, 2020).

2.10.3. Siembra

Las condiciones óptimas para la siembra de trigo se encuentran en zonas de altitudes entre 2200 y 3200 metros, con precipitaciones que oscilan entre 400 y 700 mm y temperaturas promedio de 11 a 20 °C. La época de siembra coincide con el inicio de las lluvias o el comienzo del invierno en cada región, buscando que la cosecha coincida con la época seca. Históricamente, las siembras varían, iniciando en noviembre para el centro-sur (Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo) y finalizando en enero, mientras que para el centro y norte (Pichincha, Imbabura y Carchi, incluida la provincia de Bolívar) van de enero a marzo (Subía & Zambrano, 2023).

Es crucial sembrar la semilla a una profundidad no superior a 5 cm para garantizar una emergencia rápida y evitar pérdidas. La preparación del suelo debe incluir una cama de siembra homogénea para evitar profundizar la semilla. Independientemente de la técnica de siembra utilizada, la cantidad de semilla requerida es de 180 kg ha⁻¹. Estos cuidados aseguran un establecimiento exitoso del cultivo de trigo (Vigna, 2021).

2.10.4. Fertilización

La fertilización, es una etapa crucial durante la siembra de trigo, requiere un análisis químico del suelo para determinar las necesidades nutricionales. La cantidad de fertilizante varía según las recomendaciones del laboratorio, pero en ausencia de este análisis, se puede basar en la extracción de nutrientes del cultivo (Golik, 2022).

Para alcanzar un rendimiento promedio de 4 toneladas de grano, se recomienda aplicar 80 kg de nitrógeno (N), 60 kg de fósforo (P₂O₅), 40 kg de potasio (K₂O), 20 kg de azufre (S), y microelementos como calcio, magnesio, boro y zinc. En la siembra, se debe aplicar el 20% del nitrógeno junto con el 100% de fósforo, potasio, azufre y microelementos. El 80% restante del nitrógeno se aplicará de manera complementaria. Para cumplir con estos requerimientos nutricionales, se pueden emplear fertilizantes compuestos como el 18-46-0 + sulpomag, 10-30-10, 15-30-15, o 15-30-15. Esta práctica asegura una fertilización equilibrada para optimizar el rendimiento del cultivo de trigo (Hurtado, 2025).

2.10.5. Control de maleza

Las malezas, definidas como plantas no deseadas que compiten con nuestro cultivo, requieren un control efectivo para evitar su impacto negativo. Este control puede llevarse a cabo de dos maneras (Vera, 2019):

- **Control manual:** Se emplea cuando la presencia de malezas en el lote es limitada y se dispone de suficiente mano de obra para su eliminación.
- **Control químico:** Se recomienda cuando la presencia de malezas, especialmente de hojas anchas, es significativa. En este caso, se aconseja el uso de un herbicida específico, como metsulfuron-metil, aplicado a una dosis de 30 g ha⁻¹.

2.10.6. Cosecha y Trilla

La cosecha del trigo se realiza cuando el cultivo alcanza su madurez, determinada por la resistencia del grano al ser aplastado con la uña. En áreas reducidas, la cosecha se efectúa manualmente con hoces para cortar las espigas, formando gavillas que se agrupan en parvas. En extensiones más amplias, se emplean trilladoras estacionarias y/o combinadas, aunque aún se realiza manualmente en algunas ocasiones, utilizando animales. La limpieza meticulosa de la trilladora es esencial en la trilla mecanizada para evitar mezclas no deseadas. Posteriormente, el grano, una vez trillado, se seca hasta alcanzar un 13% de humedad, se somete a limpieza y clasificación, y se recolecta en sacos para su almacenamiento y posterior comercialización, asegurando así un grano de trigo de calidad (Mollisaca, 2021).

2.10.7. Post cosecha o Almacenado

El grano cosechado, con más del 18% de humedad en la madurez de campo, requiere un proceso de secado para alcanzar el 13% de humedad necesario en la industria y prevenir daños durante el almacenamiento. El secado se realiza idealmente en un tendal de cemento, pero en ausencia de este, se puede llevar a cabo sobre tierra firme cubierta con plástico transparente. Para garantizar un secado uniforme, es crucial mover el grano al menos tres veces al día. La duración del

proceso varía entre dos a tres días, dependiendo de la humedad inicial del grano cosechado y las condiciones ambientales, como la exposición al sol y el viento (Quispe & Hushca, 2021).

2.10.8. Almacenamiento

Después de completar el proceso de secado, la semilla de trigo debe someterse a una fase de limpieza y clasificación por tamaño antes de ser almacenada. La semilla seca, limpia y clasificada se coloca en sacos en buen estado y limpios, cada uno identificado con una etiqueta que incluya información esencial como el nombre del cultivo, fecha de cosecha, nombre del productor y peso. Para un almacenamiento adecuado, es esencial elegir un lugar seco, bien ventilado y libre de humedad, además de garantizar la ausencia de roedores. Los sacos no deben estar en contacto directo con el suelo ni pegados a las paredes, ya que la semilla puede absorber humedad, asegurando así la calidad y conservación óptima de la cosecha (Zorzano, 2022).

2.11. Plagas

2.11.1. Gusano de alambre (*Agriote* sp.)

Las larvas son cilíndricas y alargadas, alcanzando hasta 20 mm en su máximo desarrollo, exhiben un color amarillo anaranjado y un cuerpo brillante. En su fase adulta, presentan un tono castaño-negro. Considerado uno de los insectos más perjudiciales, el gusano de alambre causa daños significativos, especialmente durante la fase crítica desde la siembra hasta el ahijamiento, alimentándose de las raíces del cultivo. Posteriormente, en su fase adulta, ataca el follaje. Su desarrollo se favorece en suelos húmedos y temperaturas moderadas entre 18 y 34 °C (Avilés, 2022).

2.11.2. Pulgones (*Myzus persicae*)

Estos áfidos, de color verde a verde amarillento y forma ovalada, son vectores de enfermedades viróticas. Se alimentan al picar la epidermis, provocando

abarquillamientos en las hojas. Su desarrollo se da en ambientes secos con temperaturas que oscilan entre 20 y 25°C (Uranga & Voisin, 2022).

2.11.3. Polilla de cereal (*Cnphasia pumicana*)

La forma adulta de esta polilla presenta una longitud de 6.2 a 11.5 mm, con cabeza triangular provista de escamas y pelos marrones. Sus daños incluyen galerías en las hojas y afectan la espiga, causando daños directos por consumo de granos y daños indirectos debido a malnutrición. Los síntomas incluyen decoloración de la espiga y el cuello, manteniéndose el resto de la planta verde (Borja & Quinatoa, 2023).

2.12. Enfermedades

2.12.1. Roya Amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. tritici)

- **Taxonomía**

Phylum: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Género: *Puccinia*

Especie: *striiformis*

Nombre científico: *Puccinia striiformis* f. sp. tritici (Lavilla, 2022)

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

La roya amarilla o lineal del trigo puede manifestarse en cualquier etapa fenológica de la planta. Sus pústulas inicialmente amarillentas, pueden presentarse en forma de parches o líneas dispersas en plántulas jóvenes, mientras que en plantas adultas se distribuyen en estrías alargadas, caracterizando su nombre común. Estas pústulas, que contienen uredosporas, pueden observarse fácilmente en las hojas y glumas. Además, produce una senescencia rápida y generalizada de las hojas, la roya amarilla puede causar pérdidas significativas en la producción de trigo (Sierra, 2021).

- **Condiciones predisponentes**

La roya amarilla del trigo requiere temperaturas medias más bajas para su desarrollo. La temperatura óptima para la germinación de sus esporas se sitúa entre 8 y 12°C, con una temperatura óptima para la infección confirmada en 8°C. Sin embargo, se ha observado la aparición de nuevas cepas adaptadas a temperaturas más elevadas, con una temperatura óptima de germinación de esporas de hasta 18°C. En cuanto a la humedad, las esporas necesitan al menos 3 horas con valores cercanos a la saturación, y las lluvias pueden ser predisponentes al proporcionar las condiciones adecuadas para la propagación del hongo (Jecke & Mousegne, 2019).

- **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, flutriafol), pueden ofrecer una protección de hasta 30 a 40 días, especialmente en ataques tempranos de la enfermedad (Lavilla & Peper, 2023).

2.12.2. Roya de la Hoja (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*)

- **Taxonomía**

Phylum: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Género: *Puccinia*

Especie: *recondita*

Nombre científico: *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* (Corona & Huerta, 2023)

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

La roya de la hoja o parda del trigo, causada por el patógeno *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, es una enfermedad importante a nivel mundial y regional. Este patógeno produce pústulas anaranjadas en las hojas y vainas del trigo, las cuales contienen los cuerpos fructíferos que producen los propágulos del hongo, conocidos como urediniosporas. *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* es un patógeno biotrófico, lo que significa que solo puede sobrevivir en tejido vivo de su hospedante, en este caso, el trigo. Esta característica hace que la roya de la hoja del trigo represente una amenaza significativa para los cultivos de trigo en todo el mundo (Monterrubio & Monterrubio, 2024).

- **Condiciones predisponentes**

Para el trigo, la temperatura óptima para el desarrollo del patógeno es alrededor de 20°C. La infección requiere agua libre en la superficie del follaje, proveniente de rocío o lluvias leves. Las precipitaciones fuertes pueden retardar la enfermedad al lavar las esporas. Durante el verano, los patógenos pueden sobrevivir en plantas voluntarias de cultivares susceptibles, actuando como puente verde. El inóculo secundario proviene de cultivares susceptibles donde los patógenos se multiplican. El periodo de latencia es de 7 a 10 días. Las esporas son transportadas por el viento, permitiendo la diseminación a largas distancias (Dabove, 2023).

- **Manejo de la enfermedad**

Para determinar si se debe aplicar fungicidas, se consideran el estado del cultivo (rendimiento potencial), el comportamiento del cultivar y el nivel de infección de la roya de la hoja. Se han ajustado ecuaciones de pérdida de rendimiento para diferentes tipos de cultivares, teniendo en cuenta el costo de aplicación para definir el nivel crítico (NC) de infección. Este nivel crítico representa el punto en el cual el daño causado por la enfermedad iguala al costo de la aplicación de fungicidas. Se recomienda aplicar fungicidas cuando los niveles de infección son inferiores al 5% del área foliar total antes de la floración, aunque este umbral puede aumentar

hasta el 10% para cultivares con resistencia de planta adulta. En caso de infecciones tempranas, pueden ser necesarias múltiples aplicaciones de fungicidas. Se sugiere el uso de variedades mejoradas resistentes para un control más económico, pero en casos contrarios se pueden aplicar fungicidas como propiconazole, tebuconazole, azoxystrobin u oxicarboxin (Schierenbeck, 2018).

2.12.3. Roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)

- **Taxonomía**

Phylum: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Género: *Puccinia*

Especie: *graminis*

Nombre científico: *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (Rodríguez, 2019)

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

La enfermedad se caracteriza por la presencia de lesiones ovales o alargadas, conocidas como pústulas, de color marrón oscuro, con restos de epidermis en sus márgenes, que corresponden a las estructuras de fructificación del patógeno denominadas uredosoros. Estas pústulas producen las uredosporas, que son los propágulos del hongo. A medida que el hongo madura, produce teliosporas de color negro en las mismas estructuras, lo que provoca que las pústulas adquieran este color. Estas lesiones se encuentran más comúnmente en tallos y vainas foliares, pero también pueden ocurrir en hojas y espigas (Baráibar Pedersen, 2018).

- **Condiciones predisponentes**

La temperatura óptima para el desarrollo de la enfermedad es de aproximadamente 25°C, con una mínima y máxima de 2°C y 30°C respectivamente. Esto representa una temperatura óptima alrededor de 5 grados superior a la temperatura óptima para el desarrollo de la roya de la hoja. Debido a esta diferencia en las temperaturas

óptimas, las infecciones de esta enfermedad tienden a comenzar más tarde que las de la roya de la hoja (Erreguerena & Carpaneto, 2018).

- **Manejo de la enfermedad**

El manejo efectivo de la enfermedad destaca el uso de variedades de trigo resistentes como la estrategia principal. En caso de la falta de variedades resistentes, se puede recurrir a la aplicación de fungicidas específicos como propiconazole, tebuconazole, azoxystrobin u oxicarboxin mediante aspersiones foliares. La dosis recomendada es de 3.75 cc L⁻¹, siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante para una aplicación precisa y segura (Campos & Cardarelli, 2023).

2.12.4. Fusariosis

- **Taxonomía**

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Género: *Fusarium*

Especie: *graminearum*

Nombre científico: *Fusarium graminearum* (Martinez & Moschini, 2020).

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

El Fusarium de la espiga en el trigo, causado por el hongo Fusarium spp., se caracteriza por cambiar el color de las espigas a amarillo, seguido de la presencia de masas de conidias de tonos amarillos, rosados o violeta oscuro en las glumas. Este patógeno no solo provoca pérdidas en el rendimiento del grano, sino que también puede afectar la calidad física e industrial del mismo. Además, aunque el período fenológico más vulnerable a la infección es durante la floración (antesis), también es probable que se produzca la infección en etapas posteriores, como durante el llenado de grano (Gieco, 2018).

- **Condiciones predisponentes**

Las condiciones predisponentes para la infección de fusariosis en el trigo incluyen alta humedad y temperaturas moderadas, entre 20-25°C, durante la floración, así como la presencia de heridas en la planta que pueden facilitar la entrada del hongo. Además, una rotación de cultivos inadecuada y la presencia de residuos de cultivos anteriores pueden aumentar la carga de inóculo del patógeno en el suelo, favoreciendo el desarrollo de la enfermedad (Cabrera & Garmendia, 2021).

- **Manejo de la enfermedad**

Las medidas de control incluyen rotación de cultivos, destrucción de los huéspedes secundarios, resistencia genética y quimioterapia con fungicidas benzimidazólicos aplicados en el inicio de la antesis (Scholz, 2021).

2.12.5. Virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV)

- **Taxonomía**

Familia: Luteoviridae

Nombre científico: Barley yellow dwarf virus-PAV (Gonzales & Rene, 2021)

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

Los síntomas típicos más comunes de la enfermedad incluyen enanismo debido a la falta de elongación de los entrenudos, lo cual puede ser tan grave que impide la emergencia de las espigas, además de afectar la formación de las raíces e incluso inhibirla en algunos casos. Otro síntoma característico es la pérdida de color en las hojas, que comienza desde el ápice y los márgenes hacia la base. Este amarillamiento es especialmente común en cebada y trigo (Dobronski & Naranjo, 2023).

- **Condiciones predisponentes**

La enfermedad se manifiesta con mayor intensidad en condiciones de alta luminosidad y temperaturas relativamente frescas, que oscilan entre 15-18 °C. Es notable que ciertos síntomas se vuelven más evidentes durante días largos y con temperaturas frescas, especialmente por debajo de los 20 °C. Este ambiente favorece la expresión y el desarrollo de la enfermedad, lo que subraya la importancia de monitorear cuidadosamente estas condiciones para prevenir y controlar su propagación (Ochoa & Sanchez, 2023).

- **Manejo de la enfermedad**

La opción más rentable para controlar esta enfermedad es mediante el uso de variedades mejoradas que sean resistentes a la misma. En caso de no contar con estas variedades, se pueden llevar a cabo controles de los vectores, como los pulgones, a través de aplicaciones foliares con clorpirifos, utilizando una dosis de 30cc por bomba de 20 litros, según lo recomendado por (Avilés, 2022).

2.12.6. Carbón

- **Taxonomía**

Phylum: Basidiomycota

Clase: Ustilaginomycetes

Género: *Ustilago*

Especie: *tritici*

Nombre científico: *Ustilago tritici* (Vega & Mariotti, 2023)

- **Síntomas y signo de la enfermedad**

La transmisión de esta enfermedad se produce dentro de las semillas, mientras que las esporas secas infectadas se dispersan por el viento hacia las flores de plantas cercanas antes de que estas maduren. Una vez que el trigo se ve afectado, las plantas

muestran signos de debilidad, menor tamaño y una apariencia enfermiza y clorótica. Durante la fase de espigado, los síntomas se vuelven más visibles, ya que las espigas emergen de la vaina que las rodea y los órganos florales son reemplazados por una masa de polvo negro formada por las esporas. En la última fase, estas esporas se liberan fácilmente de la planta y son dispersadas por el viento, lo que facilita la propagación de la enfermedad a nuevas plantas (Romaniuk, 2018).

- **Condiciones predisponentes**

La temperatura óptima para la germinación de las teliosporas es entre 18-20° C. La germinación ocurre después de 4-5 días a 15° C y 14-15 días a 5° C. La presencia de cultivares susceptibles o parcialmente resistentes favorecen a las infecciones de este patógeno (Landriscini & Galantini, 2020).

- **Manejo de la enfermedad**

Al ser una enfermedad transmitida por semilla, la curación en el campo no es efectiva, por lo que todas las medidas preventivas deben implementarse antes de la siembra. Es crucial utilizar semillas certificadas y evitar el uso de semillas de autoconsumo procedentes de plantaciones infectadas o de origen desconocido. Se puede desinfectar las semillas antes de la siembra con fungicidas eficaces si se sospecha contaminación (Ferro & Chamorro , 2018).

2.13. Nutrición

La nutrición en la planta de trigo es un aspecto fundamental para su desarrollo y productividad. Las plantas de trigo requieren una combinación equilibrada de macro y micronutrientes para crecer de manera saludable. Entre los macronutrientes esenciales se encuentran el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), conocidos como NPK, que son cruciales para el crecimiento de la planta, la fotosíntesis y la formación de granos. El nitrógeno es vital para la síntesis de proteínas y clorofila, el fósforo desempeña un papel clave en la transferencia de energía y el potasio contribuye a la regulación del agua y la resistencia a enfermedades (Kumar & Singh, 2017).

Los macronutrientes, el trigo también necesita micronutrientes como el hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B), que, aunque requeridos en menores cantidades, son igualmente importantes para diversas funciones fisiológicas y bioquímicas. Por ejemplo, el zinc es esencial para la síntesis de auxinas, hormonas que regulan el crecimiento de la planta, mientras que el hierro es un componente crucial de enzimas y proteínas implicadas en la fotosíntesis (Ferraris & Ortis, 2020).

Un adecuado manejo de la fertilización y la aplicación de nutrientes específicos, de acuerdo con las necesidades del suelo y las condiciones climáticas, puede optimizar el rendimiento del cultivo de trigo. La deficiencia o el exceso de cualquiera de estos nutrientes puede afectar negativamente el crecimiento y la producción, subrayando la importancia de un balance nutricional preciso y bien gestionado para asegurar una cosecha abundante y de alta calidad (Pérez, 2020).

2.14. Fijación de nitrógeno

El nitrógeno (N) es un elemento necesario en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo así una molécula esencial para el crecimiento de todos los organismos. En la atmósfera el N ocupa aproximadamente el 80%, existiendo en la forma $N=N$; sin embargo, el N_2 , debido al triple enlace entre los dos átomos de nitrógeno, que hace a la molécula casi inerte, no puede ser aprovechado por la mayoría de las formas vivientes, sino sólo por un pequeño grupo de microorganismos altamente especializados, que incluyen algas, bacterias y actinomicetes (Mamani, 2023).

El nitrógeno (N) presente en el suelo para ser utilizado en el crecimiento, este debe ser primero reducido y luego fijado en la forma de iones amonio o nitrato. El proceso a través del cual esos microorganismos reducen el nitrógeno hasta una forma utilizable es conocido como Fijación Biológica de Nitrógeno. El proceso puede ser llevado a cabo por los microorganismos en vida libre o en simbiosis con plantas, y el mismo no sólo permite usar el nitrógeno atmosférico sino también revertir o reducir la degradación del suelo (Vourtsi, 2021).

2.14.1. Bacterias fijadoras de nitrógeno

Dentro de las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno, se distinguen dos grupos. El primer grupo incluye bacterias móviles del suelo, atraídas hacia las raíces por compuestos liberados por estas. Estas bacterias pertenecen al grupo de quimioorganotrofos aerobios y se conocen como *Rizobios*, que incluyen especies como *Rhizobium* (nodulan en raíces de leguminosas en climas templados y subtropicales), *Azorhizobium* (nódulos en tallos y raíces), y *Bradyrhizobium* (que nodula las raíces de la soya) (Rojas, 2018).

En cuanto a otros formadores de nódulos de fijación dudosa de nitrógeno, se encuentran *Phyllobacterium*, que forma nódulos en tallos y hojas de mirsináceas y rubiaceas, y *Agrobacterium*. El segundo grupo está constituido por Actinomicetos, bacterias Gram positivas que nodulan las raíces de varios árboles y arbustos. Estas bacterias filamentosas viven en simbiosis con plantas actinorícicas, angiospermas capaces de formar nódulos, y pertenecen al género *Frankia*. Este grupo, que no forma micelio aéreo y tiene esporas inmóviles, géneros como *Alnus*, *Myrca*, entre otros (Bautista & Martinez, 2021).

2.14.2. *Paenibacillus polymyxa* como fijador de nitrógeno

Esta rizobacteria es capaz de ser fijadora libre de nitrógeno y es capaz de promover el crecimiento vegetal mediante la solubilización de fosfatos inorgánicos.

Paenibacillus polymyxa tiene dos sitios de colonización preferenciales, el primero ubicado en la punta de la raíz en la zona de elongación, y el segundo en la zona de diferenciación de la raíz principal, posiblemente porque estas zonas son ricas en nutrientes (Diaz, 2022).

Se sabe que esta especie de rizobacteria actúa como agente promotor del crecimiento vegetal, originando efectos positivos cuando se aplica como inoculante, por ejemplo, incrementa la biomasa del cultivo de trigo hasta en un 57% (García, 2020).

2.15. Micorrizas

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 (Faggioli, 2023).

La red de micelio permite, bajo ciertas condiciones, un libre flujo de nutrientes 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 (Cruz, 2018).

- **MICOR – 9**

MICOR 9® es un concentrado de Endo y Ectomicorrizas, que contiene una concentración mínima garantizada de 8×10^{11} UFC (unidades formadoras de colonias) de Endomicorrizas y 7×10^{11} UFC de Ectomicorrizas por cada litro de producto. Estas asociaciones son clave en el control de enfermedades radiculares, ya que las micorrizas alimentan la red trófica del suelo al ser consumidas principalmente por lombrices, insectos y otros organismos. MICOR 9 contiene esporas de nueve especies de micorrizas seleccionadas por su compatibilidad con una amplia variedad de plantas, alto grado de colonización y adaptación a diferentes condiciones ambientales. La inoculación con micorrizas depende en gran medida de las características del suelo, ya que colonizan el córtex de la raíz y desarrollan una matriz de micelio que se extiende en el suelo, mejorando la absorción de las raíces hasta cien veces (Gradega & Vera, 2018).

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°36'51,63''S
Longitud	78°59'54''W
T. máxima	21° C
T. mínima	7° C
T. media anual	14° C
P. media anual	900 mm
Heliofania	900 horas/luz/año
Humedad R.	70%
Tipo de suelo	Franco-arenoso
Ph	7.11

Fuente: Laguacoto – INAMHI (2021)

- **Zona de vida.**

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

3.2. Metodología

3.2.1. Material en estudio

- Accesoión de trigo harinero (TA18-008) del proyecto UEB-FIASA-INIAP
- Fijador de nitrógeno: *Paenibacillus polymyxa*
- Micorrizas: MICOR-9

3.2.2. Factores en estudio

Factor A: Inoculación

A1: Semillas sin inoculación

A2: Semillas de trigo inoculadas *Paenibacillus polymyxa* + *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 *Paenibacillus polymyxa* + *Micorrizas*; Cubre el 100% del requerimiento de nutrientes

T7: Semillas de trigo inoculadas *Paenibacillus polymyxa* + Micorrizas; Cubre el 75% del requerimiento de nutrientes

T8: Semillas de trigo inoculadas *Paenibacillus polymyxa* + Micorrizas; Cubre el 50% del requerimiento de nutrientes

T9: Semillas de trigo inoculadas *Paenibacillus polymyxa* + Micorrizas; Cubre el 25% del requerimiento de nutrientes

T10: Semillas de trigo inoculadas *Paenibacillus polymyxa* + Micorrizas; Cubre el 0% del requerimiento de nutrientes

3.2.4. Tipo de diseño experimental o estadístico

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

3.2.5. Manejo de la investigación

- **Análisis Físico, Químico del suelo**

Antes de sembrar, fue muy importante tomar muestras del suelo para su análisis. Para esto, se recolectaron muestras de cada parcela utilizando un método que implicó extraer una muestra de la parte central de la parcela. Después de recolectarlas, se colocaron en bolsas plásticas para mezclarlas bien. También se etiquetaron con detalles como el nombre del dueño, la ubicación y la fecha de recolección. Luego, se llevaron al laboratorio del INIAP para ser analizadas y así determinar las condiciones y necesidades nutricionales del cultivo.

- **Preparación del terreno**

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

- **Delimitación de ensayo**

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

- **Inoculación de semillas**

Antes de la siembra, se procedió a inocular las semillas de trigo previamente seleccionadas con 0.5 cc kg⁻¹ de *Paenibacillus polymyxa* y Micor-9. Esta semilla se colocó 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.

- **Siembra del ensayo**

La siembra se realizó de manera manual, utilizando una cantidad específica de semilla según las recomendaciones del INIAP. Con una densidad de 143.31 kg ha⁻¹ y 28.66 g de semilla por cada unidad experimental, las semillas se sembraron en hileras.

- **Fertilización de los ensayos**

En este estudio se realizaron dos aplicaciones de fertilizante. La primera fertilización se efectuó en el período vegetativo del cultivo, aproximadamente a los 21 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. Las fuentes que se utilizaron fueron: Nitrato de calcio, Urea, Fosfato Monopotásico, Nitrato de Potasio y Nitrato de Magnesio.

Para la fertilización, se utilizó una dosificación de 100%, 75%, 50%, 25% y 0%, conforme al requerimiento de acuerdo al siguiente detalle:

Elemento	Dosis 100% requerimiento kg ha ⁻¹	Dosis 75% requerimient o kg ha ⁻¹	Dosis 50% requerimiento kg ha ⁻¹	Dosis 25% requerimiento kg ha ⁻¹	Dosis 0% kg requerimiento ha ⁻¹
Nitrógeno (N)	104	78	52	26	0
Fósforo (P)	16	12	8	4	0
Potasio (K)	64	48	32	16	0
Calcio (Ca)	12	9	6	3	0
Magnesio (Mg)	12	9	6	3	0

- **Manejo de malezas**

La aplicación del herbicida selectivo metsulfurón metil se llevó a cabo 30 días después de la siembra, dependiendo de la presencia de malezas observadas por metro cuadrado. Se aplicó a una dosis de 10 g ha⁻¹ para controlar el crecimiento de malezas y garantizar un desarrollo óptimo del cultivo.

- **Control de plagas**

El control de plagas se realizó mediante la aplicación de una combinación de Tiametoxam y Lambdacihalotrina, dos insecticidas ampliamente reconocidos por su eficacia en el control de insectos plaga. Engeo, un insecticida de rápida absorción por la planta, se aplicó en dosis de 1.25 mL L⁻¹.

- **Control de enfermedades**

No se llevó a cabo ningún control de enfermedades.

- **Desmezcla**

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

- **Cosecha**

Esta actividad se llevó a cabo una vez que la planta alcanzó su madurez fisiológica. La cosecha se realizó de forma manual con la ayuda de una hoz; posteriormente, se colocaron en sacos cada tratamiento con sus respectivas etiquetas.

- **Trilla**

El proceso se realizó con una trilladora evitando la mezcla de semillas entre los distintos tratamientos.

- **Secado**

Se aprovechó el calor solar al extender completamente el grano en un tendal, asegurándose de que estuviera expuesto al sol. Luego, se colocó el grano en el tendal para que alcanzara la humedad óptima del 13%.

- **Aventado**

Esta actividad se llevó a cabo con ayuda de envases; aprovechando el viento, se procedió a quitar las impurezas y otros residuos existentes en el grano.

- **Almacenamiento**

Totalmente terminados todos los procesos de obtención y limpieza del grano, estos se almacenaron en recipientes en el laboratorio de Fitopatología, con sus respectivas etiquetas.

3.2.6. Métodos de evaluación (variables respuesta)

- **Porcentaje de emergencia (PE)**

Se registró a los 15 primeros días después de la siembra; el % de plantas en cada parcela se registró mediante una observación directa, siguiendo la escala de evaluación propuesta por Ponce et al. (2022) para la emergencia de cereales: Buena: 81-100% plantas emergidas, Regular: 60-80% plantas emergidas y Malo: <60% plantas emergidas.

- **Número de macollos (NM)**

Este atributo, se registró por conteo directo entre las etapas fisiológicas correspondientes a (Z2 - Z2.9) producción de macollos, en 5 plantas tomadas al azar en cada unidad experimental.

- **Días al espigamiento (DE)**

Se evaluó en los días transcurridos desde la siembra hasta cuando más del 50% de las plantas en las unidades experimentales estén visibles las espigas.

- **Densidad radicular (DR)**

La densidad radicular se determinó mediante la selección aleatoria de seis puntos dentro de cada unidad experimental distribuidos en tres puntos: sobre las hileras y tres entre las hileras, con una profundidad de 0-20 cm empleando un barreno. A partir de estas muestras, se extrajeron las raíces con pinzas y se colocaron en una bandeja plástica transparente que contenía papel milimetrado en el fondo. Posteriormente, se distribuyeron las raíces en la bandeja y se procedió a contar las intersecciones. La suma total de estas intersecciones se multiplicó por una constante de 0.3928 y al finalizar, el valor se dividió entre 100. El resultado final se expresó en cm cm^{-3} .

- **Altura de la planta (AP)**

En la fase de madurez fisiológica de la planta se midió la altura en 10 plantas al azar de cada unidad experimental con la ayuda de un flexómetro, desde el cuello hasta la última espiguilla de la espiga. Este dato se expresó en cm.

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

Para la determinación de enfermedades foliares en el trigo se realizó en tres etapas según el estado fisiológico de formación, hoja bandera (Z3.9), espigamiento (Z6.5) y grano lechoso (Z8) mediante la utilización de una escala de severidad propuesta por Horsfall-Barrat (1945). Esta escala provee una valoración numérica en rangos de severidad. Para esto se evaluaron 10 plantas al azar de cada unidad experimental en tres etapas. En estas etapas se evaluaron la cuarta hoja y la hoja bandera. Este dato se expresó en porcentaje.

- **Severidad de roya (SEVRo)**

Para la determinación de la severidad de roya se utilizó la escala propuesta por Cobb, modificada en tres etapas según el estado fisiológico: hoja bandera (Z3.9), espigamiento (Z6.5) y grano lechoso pastoso (Z8). Esta escala diagramática se usó para comparar la imagen de la escala con la observación en 10 plantas tomadas al azar de cada unidad experimental, evaluándose la cuarta hoja y la hoja bandera. Este dato se expresó en porcentaje.

- **Severidad de fusarium (SEVFu)**

Para la evaluación de la severidad de Fusarium se utilizó la escala diagramática propuesta por Stack y McMullen (2021) en las etapas de espigamiento (Z6.5), grano lechoso (Z8) y grano pastoso (Z8.9). Para esto, se evaluaron 20 espigas tomadas al azar en cada unidad experimental. Este dato se expresó en porcentaje.

- **Peso de 1000 semillas (PM)**

Se evaluó después de la cosecha, para lo cual se tomó una muestra al azar de 1000 granos de cada tratamiento y se pesó en una balanza de precisión, cuando la humedad se encontró cercana a los 13%, el dato se registró en gramos.

- **Peso hectolítrico (PH)**

Esta variable se registró una vez que el grano estuvo 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.

- **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 se ajustaron al 13% de humedad. Finalmente, con los datos tomados se aplicó la fórmula para determinar el rendimiento, como sigue:

Se determinará aplicando la siguiente fórmula matemática:

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

Dónde:

R=Rendimiento en kg ha⁻¹ al 13% de humedad

PCP=Peso de Campo por Parcela en kg

ANC=Área Neta Cosechada en m²

HE=Humedad Estándar (13%)

HC=Humedad de cosecha en porcentaje

Este dato se expresó en kg ha⁻¹.

- **Análisis económico**

En base al rendimiento total del cultivar expresado en $Tn\ ha^{-1}$, se determinó el costo de producción por hectárea de cada uno de los tratamientos, utilizando el método de Perrin et al. (1978), para el respectivo análisis.

3.2.7. Análisis de datos

- Análisis de varianza según el siguiente detalle:

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

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

- Prueba de Tukey al 5%.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Interpretación de resultados

4.1.1. Análisis de variables agronómicas

Tabla 1.

Resultados del análisis de varianza del Porcentaje de Emergencia (PE), Numero de macollos (NM), Densidad radicular (DR), Altura de planta (AP)

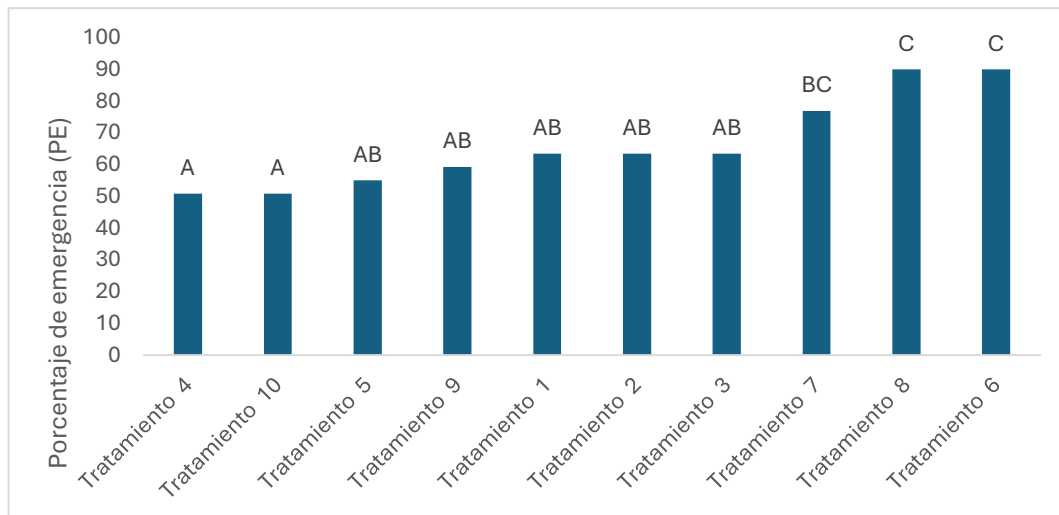
VARIABLES	GL	F	<i>p</i> -valor	CV (%)
PE (**)	9	10.14	0.0001	11.99
NM (NS)	9	1.13	0.3896	11.68
DR (**)	9	7.4	0.0002	14.04
AP (**)	9	7.74	0.0001	2.89
Error	18			

Nota: ** $p < 0.01$ = Altamente significativo; * $p < 0.05$ = Significativo; $p > 0.05$ NS = no significativo; CV = coeficiente de variación; GL = grados de libertad

En cuanto a las variables agronómicas según la Tabla 1, los resultados muestran que el PE, DR y AP fueron altamente significativo ($p < 0.01$), lo que sugiere que los tratamientos influyen de manera importante en el desarrollo de las raíces y el tamaño de las plantas. Sin embargo, el NM no presentó diferencias significativas, lo que nos muestra que este parámetro no varía de forma considerable entre los diferentes tratamientos, al corresponder a las mismas líneas.

Figura 1.

Medias para el Porcentaje de emergencia (PE) de la combinación multiespecie Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes en los tratamientos



Nota: Medias con letras diferentes refleja significancia según la prueba de Tukey $p < 0.05$.

La evaluación de la variable PE, en la Figura 1, se evidencia que T4 (Semillas sin inoculación con el 25% del requerimiento de nutrientes) y T10 (Semillas de trigo inoculadas con el 0% del requerimiento de nutrientes), mostraron un bajo PE del 50.77%. En contra posición T8 (Semillas de trigo inoculadas con el 50% del requerimiento de nutrientes) y T6 (Semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes) presentaron el más alto PE ubicándose en el 90%.

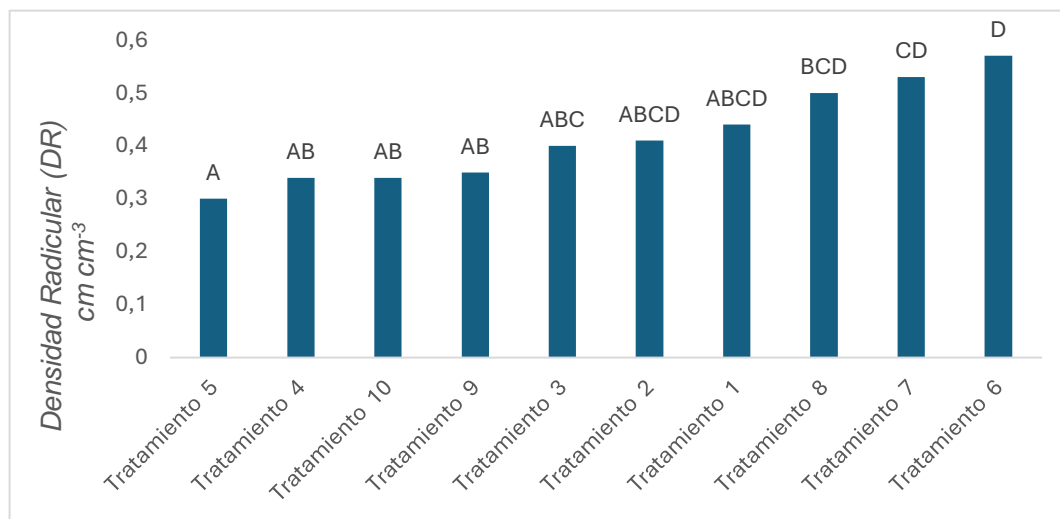
Los demás tratamientos en estudio comparten un mismo rango en respuesta a la variable porcentaje de emergencia ubicándose entre el 54.99% y el 76.92%. De acuerdo con el análisis de resultados se puede deducir que la variable PE se ve influenciada positivamente por la inoculación de semilla sumada a un buen manejo nutricional estableciéndose que dicha práctica puede llegar a incrementar el éxito en la emergencia hasta en un 77%.

Según Moreno et al. (2022), la inoculación con microorganismos mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo que facilita un mejor desarrollo de las plántulas durante sus primeras etapas. Además, estudios de Zulueta et al. (2021)

indican que la aplicación combinada de inoculantes y fertilización adecuada puede incrementar los niveles de emergencia hasta en un 70%.

Figura 2.

Medias para la Densidad Radicular (DR) de la combinación multiespecie Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes en los tratamientos



Nota: Medias con letras diferentes refleja significancia según la prueba de Tukey $p < 0.05$.

La evaluación de la variable DR, como se observa en la Figura 2., T5 (Semillas sin inoculación con el 0% del requerimiento de nutrientes) mostró el valor más bajo de DR, con un promedio de 0.3 cm cm⁻³. Al contrario, el T6 (Semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes) presentó el valor más alto, alcanzando un promedio de 0.57 cm cm⁻³. Los demás tratamientos evaluados tuvieron resultados parecidos en la variable DR, con valores que estuvieron entre 0.34 cm cm⁻³ y 0.53 cm cm⁻³.

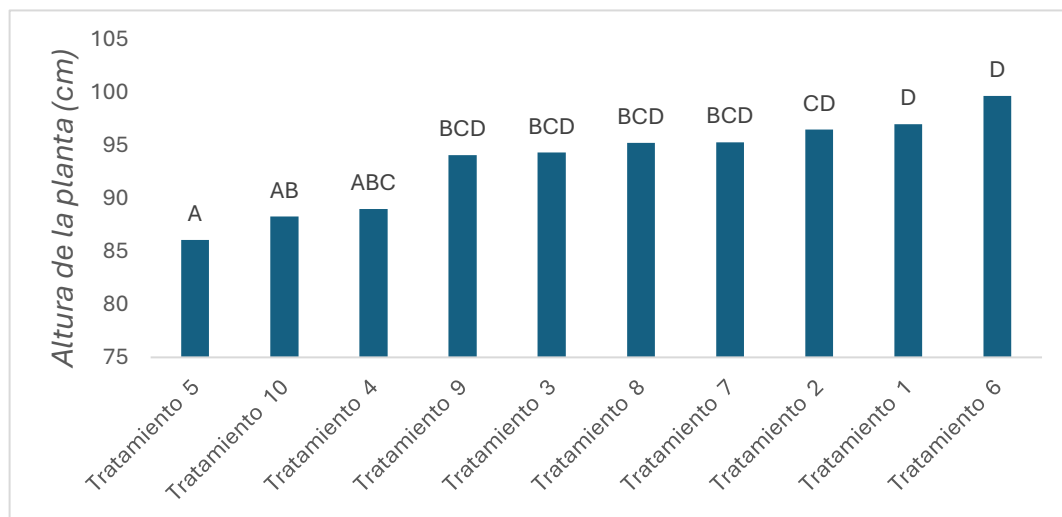
A partir del análisis de los resultados, se concluye que la inoculación de semillas con *Paenibacillus polymyxa* + Micorrizas junto con un manejo adecuado de nutrientes, contribuye a un incremento en la DR. Esta estrategia puede elevar la densidad radicular de las plantas hasta un 90%.

La inoculación de semillas mejora significativamente la DR, lo que permite una mayor absorción de nutrientes esenciales como el fósforo y el nitrógeno. Según la

investigación realizada por Yegorenkova et al. (2021), la interacción entre las bacterias promotoras del crecimiento vegetal y las micorrizas fomenta un desarrollo radicular más robusto. Además, Haggag (2017) afirma que el uso de exopolisacáridos de *Polymyxa* sp. en la rizosfera mejora la resistencia de las plantas al estrés biótico, lo que también contribuye al mayor desarrollo de las raíces.

Figura 3.

Medias para la Altura de la planta (AP) de la combinación multiespecie Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes en los tratamientos



Nota: Medias con letras diferentes refleja significancia según la prueba de Tukey $p < 0.05$.

En la Figura 3., la variable AP mostró que el T5 (Semillas sin inoculación con el 0% del requerimiento de nutrientes) presentó la altura más baja, con un promedio de 86.1 cm. En contraste, el T1 (Semillas sin inoculación con el 100% del requerimiento de nutrientes) y el T6 (Semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes) exhibieron los valores más altos, con promedios de 97.03 cm y 99.7 cm, respectivamente. Los demás tratamientos evaluados mostraron resultados similares en la altura de planta, con valores entre 88.3 cm y 96.5 cm.

Con base en los resultados, se concluye que la inoculación de semillas con *Paenibacillus polymyxa* + Micorrizas junto a una adecuada gestión de nutrientes

contribuye a aumentar la altura de las plantas, logrando un incremento de hasta el 15%.

Investigaciones realizadas por Doworah et al. (2022) han mostrado que la inoculación con *Paenibacillus polymyxa* puede incrementar significativamente el crecimiento de las plantas, incluyendo su altura. Esto se debe a que estos microorganismos mejoran la captación de nutrientes esenciales, como el fósforo, lo que facilita un crecimiento más vigoroso y robusto en diversas especies de plantas, incluyendo el trigo. Adicionalmente, Carrillo et al. (2022) indicaron que la aplicación de micorrizas en suelos con bajo contenido de nutrientes no solo favorece el crecimiento en altura de las plantas, sino también su resistencia frente a condiciones ambientales adversas.

4.1.2. Análisis de variables sanitarias

Tabla 2.

Resultados del análisis de varianza de Severidad de Manchas foliares (SEVMa), Severidad de roya (SEVRo) y Severidad de Fusarium (SEVFu)

VARIABLES	GL	F	p-valor	CV (%)
SEVMa (**)	9	8.44	0.0001	19.11
SEVRo (*)	9	2.48	0.0479	9.76
SEVFu (**)	9	10.5	0.0001	8.75
Error	18			

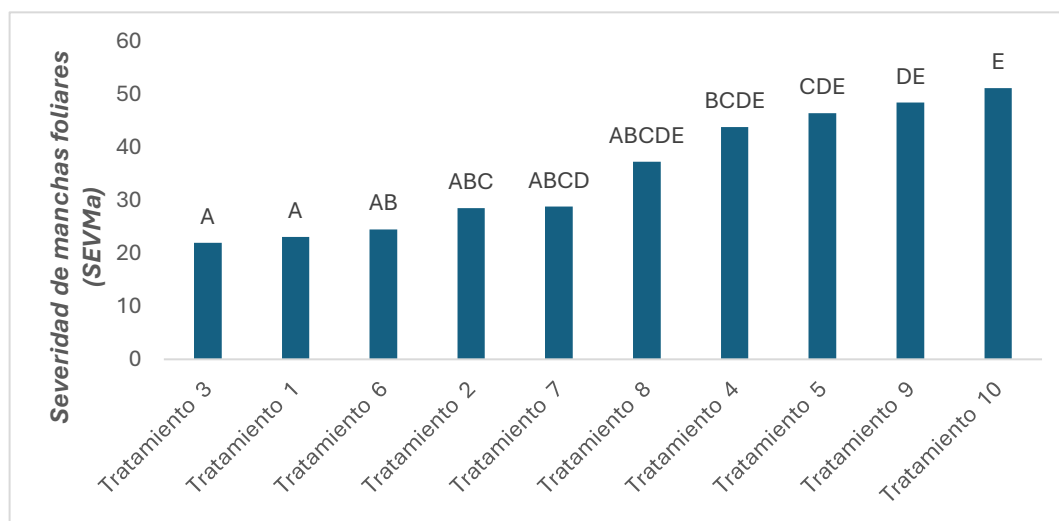
Nota: ** $p < 0.01$ = Altamente significativo; * $p < 0.05$ = Significativo; $p > 0.05$ NS = no significativo; CV = coeficiente de variación; GL = grados de libertad

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 2., tanto la severidad de las manchas foliares como la de Fusarium mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$). En cuanto a la severidad de la roya de la hoja causado por *Puccinia tritici*, aunque los resultados fueron significativos ($p < 0.01$), las diferencias entre los tratamientos fueron más moderadas en comparación con las otras enfermedades. Esto indica que, en general, la severidad de las enfermedades varió

entre los tratamientos, siendo más pronunciada para manchas foliares y Fusarium, mientras que la roya mostró una variación menos marcada.

Figura 4.

Medias para la severidad de manchas foliares (SEVMa) de la combinación multiespecie Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes en los tratamientos



Nota: Medias con letras diferentes refleja significancia según la prueba de Tukey $p < 0.05$.

La evaluación de la SEVMa, en la Figura 4., reveló que el T3 (Semillas sin inoculación con el 50% del requerimiento de nutrientes) y el T1 (Semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes) mostraron los valores más bajos de severidad, con promedios de 21.98 y 23.07%, respectivamente. Por otro lado, el T10 (Semillas de trigo inoculadas con el 0% del requerimiento de nutrientes) alcanzó el valor más alto con un promedio de 51.28.

Los otros tratamientos evaluados obtuvieron resultados similares en la severidad de manchas foliares, con valores que oscilaron entre 24.58 y 48.55.

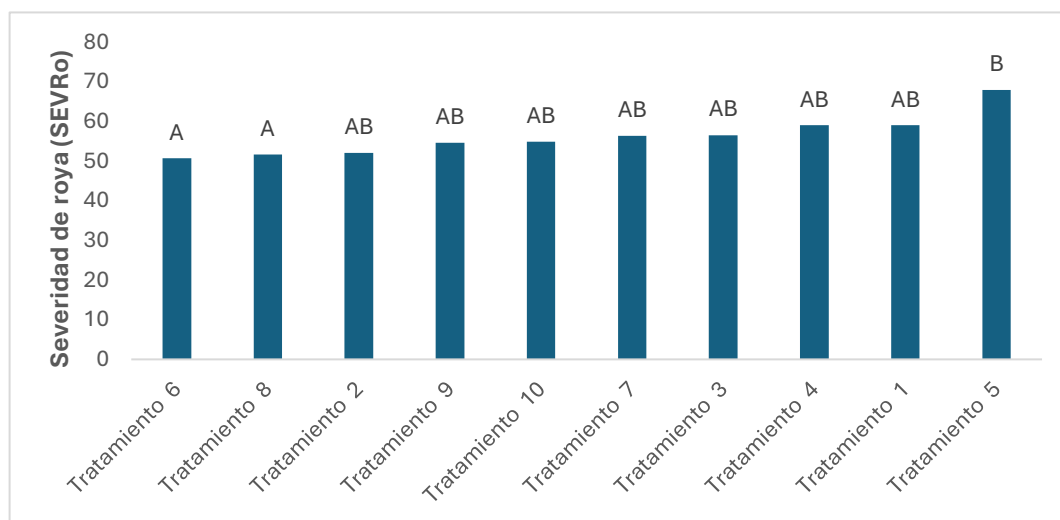
A partir de estos datos, se concluye que la inoculación de semillas, combinada con un manejo adecuado de nutrientes, ayuda a reducir la severidad de manchas foliares, pudiendo disminuirla hasta en un 133%.

En investigaciones previas como la de Sazwani et al. (2019) demostraron que la inoculación con *Paenibacillus polymyxa* ayuda a reducir la severidad de enfermedades foliares, como manchas causadas por hongos, al mejorar las defensas naturales de las plantas mediante la producción de compuestos antimicrobianos.

Asociado a esto el uso de micorrizas beneficia en la mejora de la densidad radicular lo que ayuda a la planta a comportarse mejor ante cualquier tipo de estrés biótico, como señalaron Dejana et al. (2022) en su investigación, en el que las micorrizas también juegan un papel clave en la disminución de enfermedades foliares, ya que mejoran la absorción de nutrientes esenciales como el fósforo, que es fundamental para el fortalecimiento de las defensas de la planta.

Figura 5.

Medias para la Severidad de roya (SEVRo) de la combinación multiespecie Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes en los tratamientos



Nota: Medias con letras diferentes refleja significancia según la prueba de Tukey $p < 0.05$.

En cuanto a la SEVRo, en la Figura 5., se observó que el T6 (Semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes) y el T8 (Semillas de trigo inoculadas con el 50% del requerimiento de nutrientes) presentaron las menores severidades, con promedios de 50.67 y 51.67%, respectivamente. En cambio, el T5 (Semillas sin inoculación con el 0% del requerimiento de nutrientes) tuvo el valor

más alto, con 67.83. Los demás tratamientos mostraron resultados semejantes en la SEVRo, con valores entre 51.67 y 59 %.

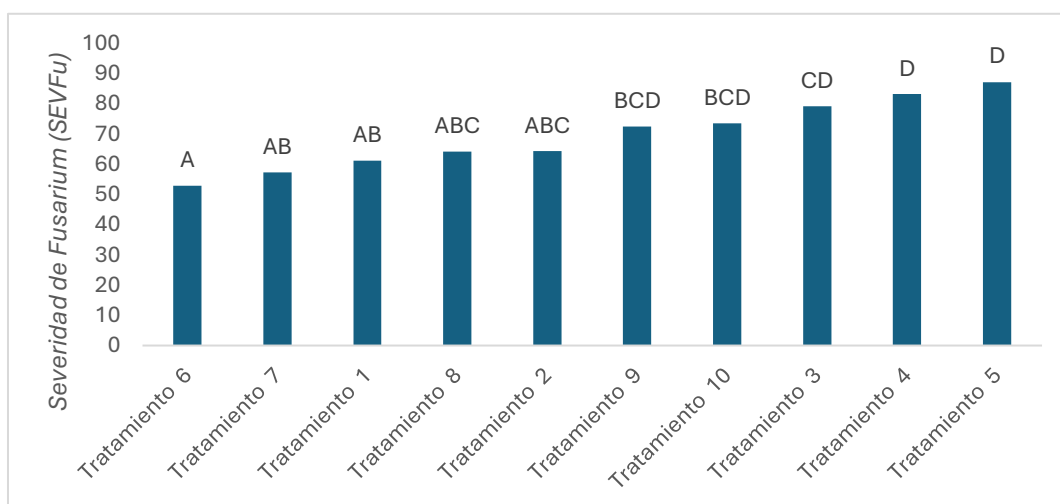
En conclusión, la inoculación de semillas junto con una correcta administración de nutrientes contribuye a una disminución en la SEVRo, logrando una reducción de hasta el 33%.

La interacción con micorrizas ha demostrado ser un factor clave en la reducción de la severidad de la roya en cultivos de trigo. Según Frew et al. (2018), esta simbiosis mejora la absorción de nutrientes esenciales, como el fósforo, lo que refuerza las defensas de las plantas y reduce la incidencia de la enfermedad.

Por otro lado, el trabajo de Portilla (2024) subraya que la cantidad de nitrógeno influye en la incidencia de roya, ya que este patógeno biotrófico prospera en tejidos con altos niveles de nitrógeno. Con una disponibilidad reducida de este nutriente, es probable que la roya se presente en menor cantidad, ya que se limita el crecimiento de tejidos susceptibles a infecciones. Como resultado, se observó una disminución significativa de la SEVRo.

Figura 6.

Medias para la Severidad de Fusarium (SEVFu) de la combinación multiespecie Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes en los tratamientos



Nota: Medias con letras diferentes refleja significancia según la prueba de Tukey $p < 0.05$.

En la Figura 6., el análisis de la SEVFu mostró que el T6 (Semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes) obtuvo el valor más bajo, con un promedio de 52.92%. En contraste, T4 (Semillas sin inoculación con el 25% del requerimiento de nutrientes) y T5 (Semillas sin inoculación con el 0% del requerimiento de nutrientes) registraron los valores más altos, con promedios de 83.12 y 87.13%, respectivamente. Los demás tratamientos mostraron valores similares en la severidad de Fusarium, oscilando entre 57.27 y 79.18%.

De acuerdo con los resultados, se concluye que la inoculación de semillas, acompañada de una correcta gestión de nutrientes, contribuye a reducir la severidad del Fusarium, logrando una disminución de hasta un 64%.

La investigación sobre la utilización de *Paenibacillus polymyxa* + micorrizas ha demostrado que su inoculación puede disminuir la severidad de enfermedades como el Fusarium en cultivos de trigo. Según un estudio de Ran et al. (2023), esta bacteria produce compuestos que afectan negativamente a los patógenos, reduciendo su capacidad de infección y promoviendo un desarrollo más saludable en las plantas. Además, se ha observado que esta enfermedad puede afectar la espiga del trigo, especialmente bajo condiciones de alta humedad.

4.1.3. Análisis de variables de rendimiento

Tabla 3.

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

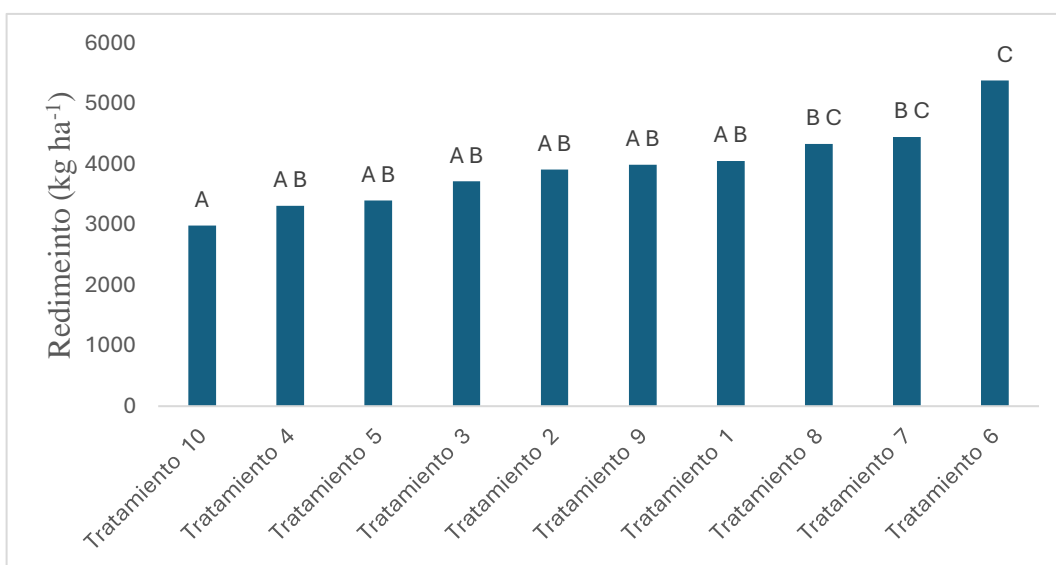
VARIABLES	GL	F	p-valor	CV (%)
REN (**)	9	6.87	0.0003	11.34
PM (NS)	9	1.17	0.3717	8.19
PH (NS)	9	2.37	0.0574	1.95
Error	18			

Nota: ** $p < 0.01$ = Altamente significativo; * $p < 0.05$ = Significativo; $p > 0.05$ NS = no significativo; CV = coeficiente de variación; GL = grados de libertad

En relación a las variables de rendimiento en la Tabla 3, se observa que el rendimiento resultó altamente significativo ($p<0.01$), lo que significa que la productividad varía considerablemente entre los tratamientos. No obstante, ni el PM ni el PH presentaron diferencias estadísticamente significativas, lo que sugiere que estos parámetros de calidad no fueron afectados por los tratamientos de manera considerable.

Figura 7.

Medias para la Rendimiento (REN) de la combinación multiespecie Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes en los tratamientos



Nota: Medias con letras diferentes refleja significancia según la prueba de Tukey $p<0.05$.

La evaluación del rendimiento como se observa en la Figura 7., indicó que el tratamiento 10 (Semillas de trigo inoculadas con el 0% del requerimiento de nutrientes) presentó el menor rendimiento, con un promedio de 2990.3 kg ha⁻¹. En contraste, el T6 (Semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes) obtuvo el mayor rendimiento, con un promedio de 5381.29 kg ha⁻¹. Los demás tratamientos arrojaron resultados similares en el rendimiento, con valores entre 3312.28 kg ha⁻¹ y 4451.29 kg ha⁻¹.

Finalmente, se concluye que la inoculación de semillas, en combinación con una adecuada gestión de nutrientes, contribuye a aumentar el rendimiento, con un incremento de hasta el 79%.

El rendimiento del trigo es afectado por diversos factores agronómicos y ambientales. Investigaciones recientes destacan la importancia de la fertilización y la inoculación de microorganismos. Según un estudio de Campillo & Jobet (2007), el uso de fertilizantes en forma equilibrada no solo mejora el crecimiento vegetativo, sino que también incrementa significativamente el rendimiento del trigo.

Paenibacillus polymyxa es un microorganismo beneficioso que ha demostrado mejorar el crecimiento y la salud de las plantas. Según estudios de Ruiz & Hernandez (2023), este microorganismo puede aumentar la resistencia a enfermedades, lo que resulta en un mayor rendimiento en cultivos como el trigo. La producción de compuestos antibacterianos por parte de *Paenibacillus* sp. contribuye a la tolerancia de las plantas a condiciones adversas y a una mejor absorción de nutrientes.

Por otro lado, las micorrizas han sido reconocidas por su papel crucial en la optimización de la absorción de agua y nutrientes. Según la investigación de Noda (2019), estas asociaciones simbióticas mejoran la salud de las plantas y su resistencia a patógenos, contribuyendo así a un aumento en el rendimiento y la calidad del cultivo.

4.1.4. Análisis Económico

A continuación, se puede revisar el presupuesto parcial, que refleja los costos y los beneficios netos de la aplicación de cada uno de los tratamientos (Tabla 4).

Tabla 4.

Presupuesto parcial para los tratamientos de inoculación de semillas Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes.

Trat.	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Ajuste al rendimiento (10%)	Total de costos variables	Ingresos totales (USD)	Ingresos netos (USD)
5	3403.9	3063.51	\$81.98	\$1647.65	\$1565.67
10	2990.3	2691.27	\$104.91	\$1447.45	\$1342.54
4	3312.28	2981.05	\$262.35	\$1603.30	\$1340.96
9	3990.57	3591.51	\$285.27	\$1931.63	\$1646.36
3	3715.86	3344.27	\$442.71	\$1798.66	\$1355.95
8	4336.69	3903.02	\$465.64	\$2099.17	\$1633.53
2	3914.76	3523.28	\$623.08	\$1894.93	\$1271.86
7	4451.99	4006.79	\$646.01	\$2154.98	\$1508.97
1	4052.61	3647.34	\$803.44	\$1961.66	\$1158.22
6	5381.29	4843.16	\$826.37	\$2604.80	\$1.778,43

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

El beneficio neto más bajo se registró en el T1 (Semillas sin inoculación con el 100% del requerimiento de nutrientes), alcanzando un valor de 1158.22 USD. Por otro lado, el mayor beneficio neto se obtuvo con el T6 (Semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes), alcanzando los 1778.43 USD.

Tabla 5.

Análisis de dominancia para los tratamientos de inoculación de semillas Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes.

Trat.	Total, de costos variables (USD)	Beneficios netos (USD)	Análisis de dominancia
5	81.97	\$1565.67	ND
10	104.90	\$1342.54	D
4	262.34	\$1340.96	D
9	285.27	\$1646.36	ND
3	442.71	\$1355.95	D
8	465.63	\$1633.53	D
2	623.07	\$1271.86	D
7	646.01	\$1508.97	D
1	803.44	\$1158.22	D
6	826.37	\$1778.43	ND

Según el análisis de dominancia Tabla 5, se concluye que todos los tratamientos evaluados (T5, T9 y T6) son no dominados (ND), lo que significa que cada uno de ellos ofrece una buena relación entre sus costos y los beneficios que genera. El T5 (semillas sin inoculación con el 0% del requerimiento de nutrientes) destaca por tener el menor costo variable 81.98 USD y un beneficio neto de 1565.67 USD, siendo una opción viable para minimizar costos. El T9 (semillas de trigo inoculadas con el 25% del requerimiento de nutrientes) presenta un costo variable intermedio 285.27 USD y un beneficio neto de 1646.36 USD, equilibrando inversión y rendimiento. Por su parte, el T6 (semillas de trigo inoculadas con el 100% del requerimiento de nutrientes) alcanza el mayor beneficio neto 1778.43 USD pese a su costo variable más alto 826.37 USD, lo que justifica su rentabilidad. Estos resultados muestran que cada tratamiento es económicamente viable dependiendo de los recursos.

Tabla 6.

Tasa de retorno marginal para de los tratamientos de inoculación de semillas Paenibacillus polymyxa + Micorrizas y la aplicación restrictiva de nutrientes.

Trat.	Total de costos variables	Costos variables marginales (USD)	Beneficios netos (USD)	Beneficios netos marginales (USD)	Tasa de retorno marginal
5	81.97		1565.67		
9	285.27	\$203.29	1646.35	\$80.68	40%
6	826.37	\$541.10	1778.43	\$132.08	24%

En la Tabla 6, la tasa de retorno marginal muestra que el T9 (semillas inoculadas con el 25% de nutrientes) presenta la tasa más alta, con un 40%, lo que indica que ofrece el mayor retorno en relación con la inversión adicional. Por otro lado, el T6 (semillas inoculadas con el 100% de nutrientes) tiene la tasa de retorno marginal más baja, con 24%, lo que significa que la inversión adicional en este tratamiento genera un retorno proporcionalmente menor en comparación con el T9.

4.2. Comprobación de hipótesis

De acuerdo a los resultados en esta investigación, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, debido a que la inoculación multiespecie con *Paenibacillus polymyxa* y micorrizas, junto con la restricción de nutrientes, incide positivamente sobre la sanidad y el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.).

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

- El análisis de la densidad radicular, como indicador clave de la capacidad de los inoculantes para colonizar el trigo, mostró que el tratamiento T6 (inoculación y 100% de nutrientes) alcanzó la mayor densidad radicular de 0.57 cm cm^{-3} , lo que refleja una mejor colonización por parte de los inoculantes. Este incremento en la densidad radicular demuestra la efectividad de los inoculantes para mejorar el desarrollo radicular del trigo, optimizando así su capacidad para absorber nutrientes y agua.
- Los resultados indican que SEVMa, SEVRo y SEVFu disminuyeron significativamente en su severidad según los tratamientos aplicados. Los tratamientos T3 (sin inoculación y 75% de nutrientes) y T1 (sin inoculación y 100% de nutrientes) lograron las menores severidades de SEVMa 21.98% y 23.07%, respectivamente, mientras que el T6 fue el más efectivo en reducir la SEVFu y SEVRo 52.92% y 50.67%. Estos hallazgos demuestran que la inoculación con *Paenibacillus polymyxa* + micorrizas, junto con un manejo adecuado de nutrientes, disminuye hasta en un 64% la severidad de SEVFu y en un 133% la de SEVMa, reforzando las defensas del trigo.
- Los resultados de este estudio evidencian que la inoculación con *Paenibacillus polymyxa* y el manejo adecuado de nutrientes mejoran significativamente el rendimiento del trigo, con un aumento de hasta un 79% en el tratamiento T6 (semillas inoculadas y 100% de nutrientes). Este tratamiento, a pesar de tener el costo variable más alto 826.37 USD, logró el mayor rendimiento, alcanzando $5381.29 \text{ kg ha}^{-1}$. En contraste, el tratamiento T5 (semillas sin inoculación y 0% de nutrientes) mostró un rendimiento menor $2990.3 \text{ kg ha}^{-1}$, pero con un costo variable más bajo 81.98 USD, lo que lo convierte en una opción rentable si el presupuesto es limitado. Además, el análisis de la tasa de retorno marginal mostró que el tratamiento T9 (semillas inoculadas y 25% de nutrientes) presenta el mayor retorno por cada dólar invertido, con una tasa del 40%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar un ensayo adicional para replicar los resultados obtenidos en esta primera campaña. Esto permitirá validar las conclusiones y asegurar la consistencia de los efectos observados en los diferentes tratamientos aplicados.
- Se recomienda combinar la inoculación de semillas con *Paenibacillus polymyxa* y Micorrizas con un aporte adecuado de nutrientes para mejorar la emergencia, densidad radicular y altura de las plantas. Este enfoque puede maximizar el desarrollo inicial y la productividad del cultivo.
- Dado que el rendimiento presenta variaciones notables según el tratamiento, es esencial adaptar la estrategia de manejo del cultivo en función del nivel de inversión en nutrientes e inoculación. En suelos con baja fertilidad, puede resultar más beneficioso elegir una combinación intensiva de nutrientes e inoculación para optimizar el rendimiento.
- Capacitar a los productores sobre el uso de inoculantes y manejo eficiente de nutrientes. Esto podría mejorar la adopción de estas prácticas en el campo y aumentar la productividad de sus cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P., & Villafañe, M. (2021). Estimación del agua útil disponible en el suelo para la Red de Evaluación de Cultivares de Trigo. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10375>
- Altamirano, W. (29 de Diciembre de 2021). Densidad óptima de siembra para el germinado hidropónico (g.h.) de trigo (*Triticum aestivum*) encuatro niveles de siembra en Cutervo. Recuperado el 14 de Junio de 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/11612>
- Angel, H., & Martínez, F. (7 de Agosto de 2023). *Trichoderma harzianum* y espinosina en el control de gorgojo del trigo *Sitophilus granarius* (L. 1758). *Biocencia*, 25(1), 94-99. doi:10.18633/biocencia.v25i1.1819
- Apaza, M., & Quispe, J. (2022). Adición de ceniza de cascara de trigo y tallo de maíz para mejorar la subrasante, carretera San Pablo - Chara, Cusco 2021. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/90928>
- Aranguren, M. (2021). Diagnóstico nutricional nitrogenado en trigo mediante sensores y aporte de subproductos orgánicos [Tesis de pregrado, UPV]. Repositorio Institucional. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=287687>
- Baráibar Pedersen, S. (2018). Estrategias de manejo con fungicidas y resistencia genética para el control de roya de tallo de trigo [Tesis de pregrado, Universidad de la República]. Repositorio Institucional. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.12008/31564>
- Bautista, A., & Martinez, V. (12 de Enero de 2021). Promoción del crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. por bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 555-567. doi:10.28940/terra.v38i3.647
- Bevan, M., & Uauy, C. (1 de Febrero de 2021). Genomic innovation for crop improvement. *Nature* 543, 346-3554. doi:10.1038/nature22011
- Borja, J., & Quinatoa, R. (2023). Caracterización de la calidad física y fitopatológica sanitaria de grano en 52 líneas diferenciales de avena (*Avena sativa*), 39 de trigo (*Triticum aestivum*) y 15 de cebada (*Hordeum vulgare*)

- en la provincia Bolívar [Tesis de pregrado, UEB]. Repositorio Institucional. Recuperado de <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/5585>
- Cabrera, M., & Garmendia, G. (12 de Enero de 2021). Trichoderma atroviride como controlador biológico de fusariosis de espiga de trigo mediante la reducción del inóculo primario en rastrojo. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 629-651. doi:10.28940/terra.v38i3.664
- Campillo, R., & Jobet, C. (2007). Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo. *AGRICULTURA TÉCNICA*, 67(3), 281-291. Recuperado el 9 de Octubre de 2024, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/agrtec/v67n3/at07.pdf>
- Campos, P. E., & Cardarelli, F. O. (2023). Situación actual de las royas de trigo en Argentina. Cambios en las poblaciones de los patógenos y comportamiento sanitario de los cultivares de trigo [Tesis de pregrado, INTA]. Repositorio Institucional. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/16686>
- Carrillo, S., Puente, J., Montes, S., & Cruz, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, 129. doi:10.21829/abm129.2022.1932
- Castillo, J. M. (17 de Septiembre de 2020). Evaluación de la aplicación conjunta de dosis recomendadas y reducidas de *Azospirillum brasilense* Az 39 INTA y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y margen bruto en trigo (*Triticum aestivum* L.). Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/962>
- Corona, T., & Huerta, J. (30 de Diciembre de 2023). Acción génica y genes que otorgan resistencia a roya de la hoja en trigo cristalino. *Revista fitotecnia mexicana*, 45(1), 83-89. doi:10.35196/rfm.2022.1.83
- Cremona, M., & Enriquez, A. (Agosto de 2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/revista-presencia-n%C2%B0-73>
- Cruz, X. A. (2018). Análisis genotípico, fenotípico y funcional de bacterias aisladas de nódulos de (*cicer arietinum* L). Para la evaluación de su potencial como biofertilizantes agrícolas en cultivos de garbanzo y trigo [Tesis de pregrado,

- USAL]. Repositorio Institucional. Recuperado el 14 de Junio de 2024, de <https://produccioncientifica.usal.es/documentos/5e4e724c2999524eaa950bee?lang=gl>
- Dabove, M. A. (2023). Mapeo fino de un gen de resistencia a la roya de la hoja, de expresión en planta adulta en el cromosoma 4BL, proveniente del cultivar tradicional de trigo con resistencia durable Sinvalocho [Tesis de pregrado, UBA]. Repositorio Institucional. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n7464_Dabove.pdf
- Dejana, L., Ramírez, B., Rivero, J., Gamir, J., López, J., & Pozo, M. (2022). Phosphorus availability drives mycorrhiza induced resistance in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 13. doi:10.3389/fpls.2022.1060926
- Delgado, L., & Ammar, K. (2023). Acción génica y genes que otorgan resistencia a roya de la hoja en trigo cristalino. *Revista fitotecnia mexicana*, 45, 83-89. doi:<https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.83>
- Diaz, Y. C. (2022). Identificación y Caracterización de Rizobacterias Nativas Fijadoras de Nitrógeno de Capsicum sp. de la Región Caribe Colombiana [Tesis de pregrado, USB]. Repositorio Institucional. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8479098>
- Dobronski, J., & Naranjo, D. (2023). Evaluación del comportamiento de cuatro líneas de cebada bajo las condiciones agroecológicas del sector Querochaca [Tesis de pregrado, UTA]. Repositorio Institucional. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/38263>
- Doworah, B., Singh, S., & Agarwala, N. (2022). Los hongos micorrízicos arbusculares confieren tolerancia al estrés biótico en las plantas. *Revista de Regulación del Crecimiento Vegetal*, 41, 1429-1444. doi:10.1007/s00344-021-10392-5
- Erreguerena, I., & Carpaneto, B. (2018). Estrategias de protección para el control de Roya del Tallo en trigo [Tesis de pregrado, INTA]. Repositorio Institucional. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <https://inta.gob.ar/documentos/estrategias-de-proteccion-para-el-control-de-roya-del-tallo-en-trigo>

- Faggioli, V. S. (2023). La agricultura y las micorrizas [Tesis de pregrado, INTA]. Repositorio Institucional, Argentina. Recuperado el 11 de Agosto de 2024, de <https://inta.gob.ar/documentos/la-agricultura-y-las-micorrizas>
- FAO. (7 de Junio de 2024). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Recuperado el 16 de Junio de 2024, de <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Ferraris, G. N., & Ortis, L. (2020). Variabilidad en la respuesta a nutrición en cultivares de trigo y cebada cervecera - Campaña 2019/20 [Tesis de pregrado, INTA]. Repositorio Institucional. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <https://inta.gob.ar/documentos/variabilidad-en-la-respuesta-a-nutricion-en-cultivares-de-trigo-y-cebada-cervecera-0>
- Ferro, D., & Chamorro, A. (2018). Balance de carbono del suelo en una secuencias de cultivos trigo/soja 2^{da} y colza/soja 2^{da}. En Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (págs. 1022-1027). Tucumán. Recuperado de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/166337>
- Franco, P. (2024). Influencia de la germinación de trigo y de garbanzo en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de las harinas y su efecto en la producción de pastas secas. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/11086/551421>
- Frew, A., Powell, J., Glauser, G., Bennett, A., & Johnson, S. (2018). Los hongos micorrícicos mejoran la absorción de nutrientes, pero desarman las defensas de las raíces de las plantas, lo que promueve las poblaciones de nematodos parásitos de las plantas. *Biología y Bioquímica del Suelo*, 126, 123-132. doi:10.1016/j.soilbio.2018.08.019
- Gallegos, E. (2024). Evaluación y selección de líneas promisorias de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) por su resistencia a septoriosis de trigo (*Septoria* spp.) en la estación experimental andenes (INIA) Zurite-Anta-Cusco. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12918/8541>
- García, M. (2020). Identificación molecular de bacterias con potencial fijador de nitrógeno, asociadas a la rizósfera de *Prosopis pallida* “algarrobo” [Tesis de pregrado, UNTUMBES]. Repositorio Institucional. Recuperado el 14 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/123456789/2197>

- Gernetti, C. (22 de Noviembre de 2022). Ensayos de supervivencia de (*Trichoderma* spp.) en semillas de trigo peleteadas. Recuperado el 12 de Junio de 2024, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/146608>
- Gieco, L. C. (2018). Detección de fuentes novedosas de resistencia genética a fusariosis de la espiga en trigo pan (*Triticum aestivum* L.) [Tesis de pregrado, UNR]. Repositorio Institucional. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/9719>
- Giraldo-Cañas, D. (2023). Acerca de la identidad de *Agave cordillerensis* (Agavaceae), la angiosperma con la inflorescencia más grande del mundo. *Cinchonia*, 18(1), 99-128. Recuperado el 11 de Agosto de 2024, de <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/CINCHONIA/article/view/4535>
- Giuliano, D., & Carpentieri-Pipolo, V. (16 de Abril de 2020). Bacterial endophytes associated to crops: novel practices for sustainable agriculture. 5, 1099. doi:10.29011/2574-7258.001099
- Golik, S. (2022). Trigo: fertilización y rotaciones. Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado el 16 de Junio de 2024, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/156565>
- Gonzales , R., & Rene, O. (2021). Áfidos vectores del virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) en cultivo de trigo en el Paraguay. *Investigación Agraria*, 23(1), 28-31. doi:10.18004/investig.agrar.2021.junio.2301678
- Gradega, O., & Vera, J. (2018). Efecto de los biofertilizantes sobre la asimilación de nitrógeno por el cultivo de trigo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 281-289. doi:10.29312/remexca.v9i2.1071
- Haggag, W. (2017). Colonization of exopolysaccharide-producing *Paenibacillus polymyxa* on peanut roots for enhancing resistance against crown rot disease. *African Journal of Biotechnology*, 6(12), 1568-1577. doi:10.5897/AJB2007.000-22901.
- Hurtado, F. (17 de Mayo de 2025). Evaluación de densidades y fertilización variable en trigo. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6815>
- Jecke, F., & Mousegne, F. (2019). Alternativas de control químico para la Roya Amarilla del Trigo [Tesis de pregrado, INTA]. Repositorio Institucional.

Recuperado de <https://inta.gov.ar/documentos/alternativas-de-control-quimico-para-la-roya-amarilla-del-trigo>

- Kumar, A., & Singh, D. (2017). Efecto de NPK en el crecimiento de las plantas, el rendimiento y la calidad del pimiento (*Capsicum annum* L.) bajo la sombra de la red. *Revista Internacional de Microbiología Actual y Ciencias Aplicadas*, 6(3), 1085-1091. doi:10.20546/ijcmas.2017.603.125
- Landriscini, M. R., & Galantini, J. A. (2020). Fracciones de carbono y nitrógeno del suelo y productividad del trigo en el sudeste bonaerense, Argentina. *Ciencias Agronómicas*, 35, 1-20. doi:10.35305/agro35.e006
- Lavilla, M. (2022). Efecto sobre el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum*) de la roya amarilla (*Puccinia striiformis*). *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), 1-20. doi:10.15517/am.v33i1.46141
- Mamani, E. J. (2023). Fijación de nitrógeno en las fases fenológicas del tarwi silvestre qçila qçila (*Lupinus* sp.) en el municipio de Quime comunidad Camillaya provincia Inquisivi [Tesis de pregrado, UMSA]. Repositorio Institucional. Recuperado el 14 de Junio de 2024, de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/33782>
- Marchisone, F. (2023). Análisis multiambiental regional de la productividad del trigo (*Triticum aestivum* L.), estabilidad y adaptabilidad según su madurez relativa. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/11086/547225>
- Martínes Resendez, E. A. (19 de Marzo de 2024). Efectividad del consorcio bacteriano formado por *Pseudomonas mediterránea*, *Pantoea antophila* y *Variovorax paradoxus*, para antagonizar al hongo productor de la secadera del trigo *Fusarium proliferatum* y su posible uso como bioinoculante. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/10357>
- Martínez, E., & Espitia, E. (2021). La productividad del trigo harinero bajo diferentes condiciones de riego. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1-12. doi:10.29312/remexca.v11i6.2050
- Martinez, M. I., & Moschini, R. (2020). Modelos logísticos con base meteorológica para predecir niveles de la Fusariosis de la espiga de trigo en cultivares de

- distintas susceptibilidad a la enfermedad [Tesis de pregrado, INTA]. Repositorio Institucional. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/9061>
- Minta, M. (Febrero de 2024). Evaluación del comportamiento agronómico de cuatro líneas promisorias y una variedad de trigo (*Triticum Aestivum* L.) del INIAP (segundo año) bajo las condiciones agroclimáticas de la Universidad Técnica de Cotopaxi 2023-2024. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/12135>
- Monterrubio, C., & Monterrubio, A. (2024). *Selección de genotipos de trigo por su resistencia a roya de la hoja y buen comportamiento agronómico* [Tesis de pregrado, TecNM]. Repositorio Institucional. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/7154>
- Montesdeoca, M. (Agosto de 2023). Determinación de las condiciones óptimas de tiempo de maduración y humedad en el cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. en sustrato de afrecho de trigo. [Tesis de pregrado, UPS] Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25572>
- Moreno, J., Barraza, B., Osorno, L., Osorio, W., & Medina, A. (2022). Efecto de la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en suelos degradados de minería aluvial. *Acta Agronómica*, 71(2), 148-155. doi:10.15446/acag.v71n2.92382
- Muñoz, E., & Sierra, J. (2021). Productividad y valor nutricional de forraje de cebada y trigo del trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 271-292. doi:10.15517/am.v32i1.40465
- Muñoz, J. G. (25 de Febrero de 2022). Análisis de la transferencia de radionucleidos naturales desde diversos suelos tipo al trigo. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/10662/14911>
- Noda, Y. (2019). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2). Recuperado el 9 de Octubre de 2024, de http://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000200001

- Ochoa, M., & Sanchez, J. (19 de Mayo de 2023). Rendimiento y valor nutritivo de cereales y cártamo forrajero en la Comarca Lagunera. *Biocencia*, 24(2), 142-148. doi:10.18633/biocencia.v24i2.1620
- Pérez, D. H. (2020). Efecto de factores ambientales, de la nutrición nitrogenada y su interacción sobre el rendimiento y el contenido de proteína de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el centro de la Provincia de Santa Fe [Tesis de pregrado, UNR]. Repositorio Institucional. Recuperado el 12 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/2133/23496>
- Pichucho, C. (Agosto de 2022). Evaluación del comportamiento agronómico de líneas promisorias de trigo (*Triticum aestivum* L.) del INIAP bajo las condiciones agroecológicas de la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Salache, provincia de Cotopaxi 2021-2022. [Tesis Pregrado, UTC] Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9474>
- Ponce, L., & Garófalo, J. (2022). Actividades de Investigación en Cereales Año 2021. (INIAP, Ed.) Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5977/1/INFORME%20ANUAL%20CEBADA%202021%20digital%20baja%20resoluci%C3%B3n.pdf#page=43>
- Quispe, M., & Hushca, C. (2021). Respuesta morfoagronómica de doce accesiones de trigo suave (*Triticum aestivum* L.) en la localidad de Laguacoto III, cantón Guaranda, provincia Bolívar.[Tesis Pregrado, UEB]. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/3971>
- Ran, J., Wu, Y., Zhang, B., Su, Y., Lu, N., Li, Y., Shi, J. (2023). *Paenibacillus polymyxa* Antagonismo frente al Fusarium: Identificación y optimización de la producción de antibióticos. *Toxins*, 15(2), 138. doi:10.3390/toxins15020138
- Riofrio, A. (16 de Mayo de 2022). Evaluación de la respuesta de líneas de trigo frente a *Puccinia striiformis* f. sp. tritici. durante el desarrollo vegetativo y fase de espigado, en la parroquia Licto, del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17420>

- Robles , R., & Chaparro, L. (2 de Marzo de 2021). Mejorando rasgos biométricos de plántulas de trigo con la inoculación de un consorcio nativo de *Bacillus*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(1), 191-202. doi:10.29312/remexca.v11i1.2162
- Rodriguez, M. (2019). Genética de la resistencia a roya amarilla causada por *puccinia striiformis* f. sp. *tritici* w. En tres genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista fitotecnia mexicana*, 42(1), 31-38. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n1/0187-7380-rfm-42-01-31.pdf>
- Rojas, L. M. (2018). Caracterización de bacterias fijadoras de nitrógeno y su relación con suelos agrícolas en el distrito de riego de repelón, Departamento Del Atlántico [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa]. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/11323/70>
- Romaniuk, R. (2018). Efecto a corto plazo de la inclusión de vicia y trigo como cultivos de cobertura sobre el C, N y P en distintas fracciones de la materia orgánica, y la disponibilidad de macro y micronutrientes. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 44(2), 48-60
- Ruiz, V., & Hernandez, E. (2023). El género *Paenibacillus* y su aplicación como promotor de crecimiento vegetal y biocontrolador de fitopatógenos: Una revisión. *Ciencia y Tecnología ITESCAM Calkiní*, 2 (1), 3-22 doi:10.13140/RG.2.2.35678.41282
- Sampietro, E. (6 de Diciembre de 2023). Efeito de extratos de tremoço azul (*Lupinus angustifolius*) no desenvolvimento de plântulas de trigo (*Triticum aestivum*) [Tesis pregrado, UFSS]. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/7371>
- Sandoval, D. C. (2020). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de hojas de moringa (*Moringa oleífera*) y harina de soya (*glycine max*) en elaboración de galletas dulces. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3697>
- Sazwani, N., Rahman, A., Azzuan, M., Mohamad, Z., Zalina, N., & Roji, M. (2019). Compuestos bioactivos de *Paenibacillus polymyxa* para aplicaciones

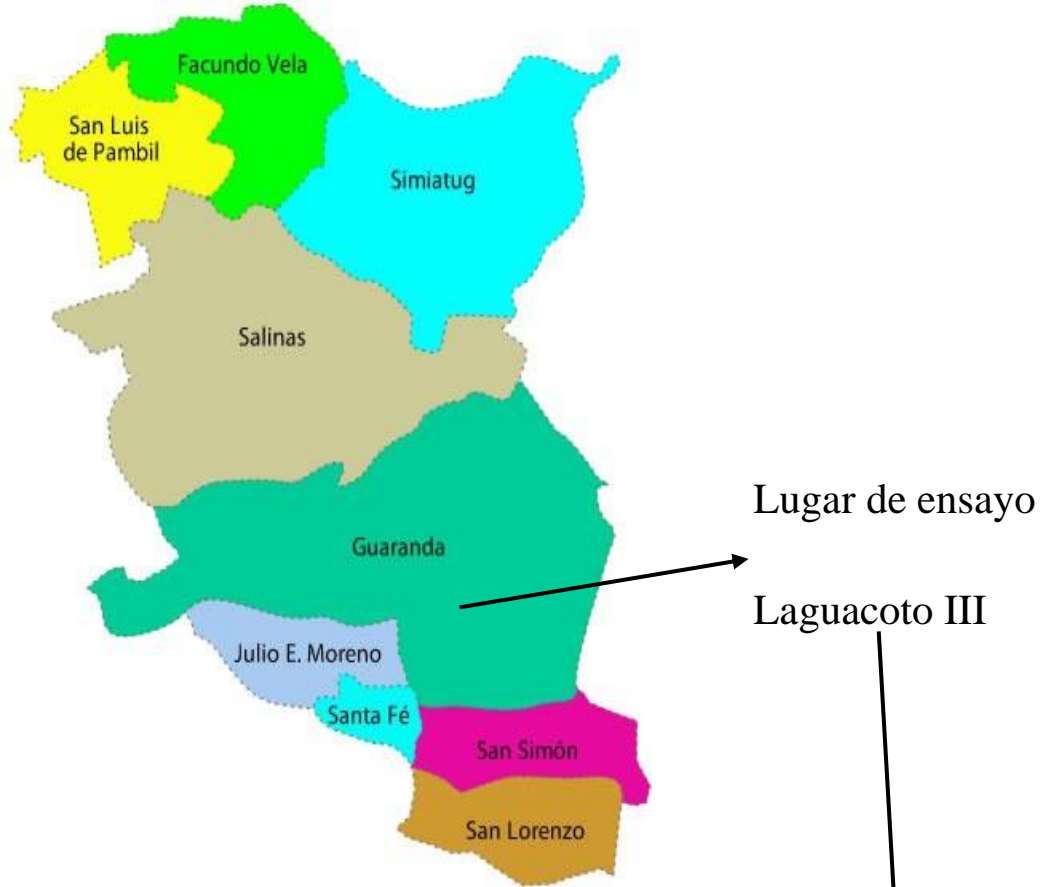
agrícolas y biotecnológicas. *Biocatálisis y Biotecnología Agropecuaria*, 18. doi:10.1016/j.bcab.2019.101092

- Schierenbeck, M. (2018). Impacto de la mancha amarilla y roya de la hoja en la dinámica del nitrógeno en cultivares de trigo con diferente tolerancia, bajo aplicación de fertilización nitrogenada y fungicidas [Tesis doctoral, COCINET]. Repositorio Institucional. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/11336/94108>
- Scholz, R. (Junio de 2021). Control químico de Fusariosis de la espiga del trigo y su efecto sobre los componentes de producción. *Investigación Agraria*, 23(1), 32-39. doi:10.18004/investig.agrar.2021.junio.2301559
- Silvestre, M. (2021). Identificación de dianas e interactores de Tfl1, un regulador clave en la floración y la arquitectura de la inflorescencia. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=298310>
- SIPA. (2021). Informe de productividad agrícola 2021. Recuperado de https://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/rendimientos/informe_productividad_agricola_2021.pdf
- Subía, C., & Zambrano, J. (2023). Investigación, desarrollo e innovación en semillas andinas para una agricultura sustentable en la Sierra del Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6119>
- Tamayo, E. (2024). Harina de arroz *Oryza sativa*, quínoa *Chenopodium quinoa* y avena *Avena sativa* como alternativa para sustitución de la harina de trigo *Triticum* en la elaboración de galletas dulces. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16311>
- Ticona, H. (2022). *Evaluación de la calidad nutritiva de diferentes ecotipos de trigo (Triticum aestivum L.) en valles interandinos del municipio de Charazani*. Recuperado de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/31202>
- Uranga, J., & Voisin, A. (2022). Trigo: manejo de plagas. En *Cereales de invierno* (Vol. 7, págs. 186-198). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/154685>
- Valdez, G., & Conde, M. (Mayo de 2024). Evaluación de rendimiento de cultivares de trigo pan en el Valle de Lerma. Estación Experimental Salta. Recuperado el 12 de Junio de 2024, de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/17805>

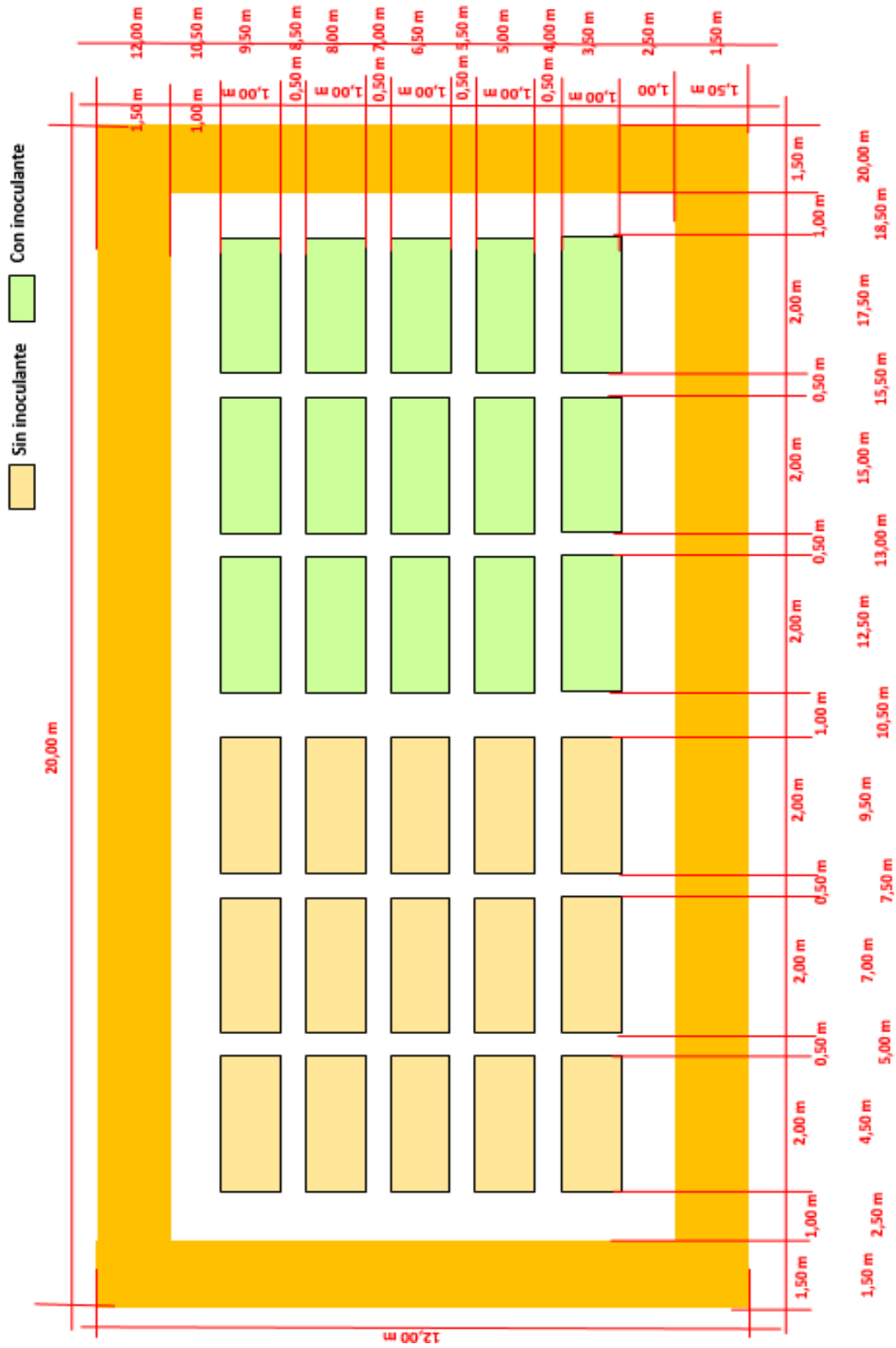
- Valero, M. (2020). Sistemas de mecanización de suelos arroceros y sus efectos degradativos sobre la producción de arroz. Recuperado el 16 de Junio de 2024, de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8420>
- Vásquez, C., & Sotaminga, J. (2023). Evaluación del comportamiento agronómico de líneas promisorias de trigo (*Triticum aestivum* L.) del INIAP, sector Querochaca, canto Quero, Provincia de Tungurahua . Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/39759>
- Vega, C., & Mariotti, M. (2023). Cantidad, estabilidad y digestibilidad de hidratos de carbono tras el proceso de extrusión: Impacto sobre el índice glicémico de harinas de consumo habitual en Chile. *Revista chilena de nutrición*, 50(2), 233-241. doi:10.4067/s0717-75182023000200233
- Vigna, M. (Junio de 2021). Efecto de diferentes densidades de siembra de trigo sobre la interferencia de *Avena fatua* L. en diferentes sistemas de siembra. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/17845>
- Vourtsi, A. I. (2021). Removilización de nitrógeno en el sistema Gunnera - *Nostoc*. Repositorio Institucional. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1972>
- Yanez Rios, A. R. (4 de Diciembre de 2020). Análisis de las importaciones de trigo en el Ecuador durante el periodo 2015-2019. Recuperado el 15 de Junio de 2024, de https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15907/1/E-11849_YANEZ%20RIOS%20ANGEL%20RAMIRO.pdf
- Yegorenkova, I., Tregubova, K., Krasov, A., Evseeva, N., & Matora, L. (24 de Julio de 2021). Efecto de los exopolisacáridos de la rizobacteria *Paenibacillus polymyxa* sobre las variables fisiológicas y morfológicas de plántulas de trigo. *Revista de Microbiología*, 59, 729-735. doi:10.1007/s12275-021-0623-9
- Zulueta, R., Gómez, F., Alemán, I., Nuñez, M., & Lara, L. (12 de Enero de 2021). Respuesta del cultivo de maíz a la bio-inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra Latinoamericana*, 38(3). doi:10.28940/terra.v38i3.656

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de la investigación.



Anexo 2. Croquis del ensayo.



Anexo 3. Base de datos

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

Anexo 4. Análisis de suelo



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Ciudadlegua.
 Tels. (02) 3007284 / (02)2504240
 Mail: laboratorio.55a@inisp.gob.ec



MC-LASPA-2201-01

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

INFORME DE ENSAYO No: 24-0054

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 26/02/2024 11:14
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 26/02/2024
FECHA DE ANÁLISIS: 26/02/2024
FECHA DE EMISIÓN: 15/03/2024
ANÁLISIS SOLICITADO: S4

Análisis	Unidad	pH	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Ca+Mg/K	I	MO	CO.*	Textura (%)			Clase Textural	IDENTIFICACION												
																			Arena	Arcilla	FRANCO-ARENOSO														
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

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

OBSERVACIONES: * Ensayos no solicitados por el cliente

METROLOGIA USADA

pH = Sento Aqua (12.5.5) P K Ca Mg = Ohaus Modificado
 S.B = Fofrato de Calcio Cur e Mn Zn = Ohaus Modificado
 B = Curcumina

METROLOGIA USADA

C.E. = Pasta Saturada
 M.O. = Decremento de Pesarón
 A.H.H = Titulación NaOH

INTERPRETACION

Ac = Acido N = Nitrato B = Bajo
 La = Ligro Acido LAl = Ligro Alcalino M = Medio
 FN = Phos. Nitrato Al = Aluminio A = Alto
 RC = Requieren Cal T = Toxicos (Boro)

INTERPRETACION

Al+Al y Na C.E. M.O y CI

B = Bajo NS = No Salino S = Salino B = Bajo
 M = Medio LS = Lig. Salino MS = My Salino M = Medio
 T = Toxicos A = Alto

LABORATORISTA

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 dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico 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 información.
 * Opiniones de interpretación, etc. que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 5. Imágenes del manejo de la investigación

Foto1. Distribución de la unidad experimental



Foto2. Inoculación



Foto 3. Siembra



Foto 4. Fertilización



Foto 5. Control de malezas



Foto 6. Control de plagas



Foto 7. Porcentaje de emergencia (PE)



Foto 8. Severidad de manchas foliares (SEVMa)



Foto 9. Severidad de roya (SevRo)



Foto 10. Días al espigamiento (DE)



Foto 11. Severidad en Fusarium (SEVFu)



Foto 12. Altura de la planta (AP)



Foto 13. Visita de campo



Foto 14. Densidad Radicular (DR)



Foto 15. Cosecha



Foto 16. Almacenamiento



Foto 17. Trilla



Foto 18. Peso de campo por parcela



Foto 19. Porcentaje de humedad



Foto 20. Peso de 1000 granos



Foto 21. Peso Hectolítico



Anexos 6. Glosario de términos técnicos.

Abarquillamiento: Anomalía en la planta caracterizada por una curvatura o doblez anormal en la parte superior, típicamente causada por condiciones ambientales adversas durante el crecimiento, como estrés hídrico o daño por insectos.

Actividad microbiana: La actividad de microorganismos presentes en el suelo o en otros entornos agrícolas, que incluye procesos como la descomposición de materia orgánica, la fijación de nitrógeno, la mineralización de nutrientes y la producción de compuestos bioactivos que pueden beneficiar o perjudicar a las plantas.

Aleuron: Capa externa de células en el endospermo de las semillas de muchas plantas, rica en proteínas, enzimas y otros nutrientes que proporcionan energía y nutrientes durante la germinación y el desarrollo inicial de la plántula.

Angiospermas: Plantas con flores cuyas semillas están protegidas dentro de un ovario. Son el grupo más diverso y extenso de plantas terrestres, incluyendo árboles, arbustos, hierbas, pastos, y la mayoría de las plantas que producen frutos.

Azobacter: Género de bacterias del suelo conocidas por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y convertirlo en formas asimilables por las plantas, contribuyendo así al ciclo del nitrógeno en los ecosistemas agrícolas.

Bacterias: Microorganismos unicelulares que pueden ser beneficiosos, neutrales o patógenos para las plantas. En la agricultura, algunas bacterias pueden ser utilizadas como agentes biofertilizantes, biopesticidas o bioestimulantes para mejorar el crecimiento y la salud de las plantas.

Biomasa: La cantidad total de materia orgánica, viva o recientemente muerta, en un área específica, como un ecosistema o un cultivo. La biomasa agrícola incluye los tallos, hojas, raíces y otros residuos de plantas que pueden ser utilizados como materia prima para la producción de biocombustibles, compostaje u otros fines.

Biota: El conjunto de organismos vivos en un área determinada, incluyendo plantas, animales, hongos, bacterias, protozoos y otros microorganismos. La biota del suelo desempeña un papel crucial en la fertilidad del suelo y en los procesos biogeoquímicos que sustentan los ecosistemas agrícolas.

Córtex: Tejido externo de las raíces de las plantas, que protege la médula y ayuda en la absorción de nutrientes. El córtex es una región importante para el intercambio

de nutrientes y agua entre las raíces y el suelo, y puede ser modificado por factores ambientales y prácticas agrícolas.

Diseminación: La propagación o dispersión de organismos, semillas, enfermedades, etc., en el ambiente. Puede ocurrir a través de diversos medios, como el viento, el agua, los animales, o actividades humanas como el transporte de mercancías.

Ectomicorrizas: Asociación simbiótica entre ciertos hongos y las raíces de las plantas, que forma estructuras externas al sistema radicular de la planta. Estas micorrizas son comunes en árboles forestales y se caracterizan por una capa externa de hifas fúngicas que rodea las raíces y aumenta la capacidad de absorción de nutrientes de la planta.

Endomicorrizas: Asociación simbiótica entre ciertos hongos y las raíces de las plantas, que forma estructuras dentro de las células de la raíz. Estas micorrizas son típicas de muchas plantas herbáceas y cultivadas, y se caracterizan por la formación de estructuras especializadas llamadas "vesículas" y "arbusculos" dentro de las células de la raíz, que facilitan el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta.

Fasciculada: Disposición de las hojas o flores en grupos o haces, típicamente en un mismo punto del tallo. Esta disposición puede mejorar la eficiencia fotosintética, la captura de luz solar, o la polinización en ciertas plantas.

Fructificación: El proceso de producción de frutos por parte de una planta. Incluye la formación y maduración de los órganos reproductivos de la planta, así como la dispersión de las semillas contenidas en los frutos.

Gavillas: Manojos o haces de tallos de plantas agrícolas, usualmente atados juntos para facilitar su manejo. Las gavillas se utilizan comúnmente en la cosecha de cereales y otros cultivos, y pueden ser manipuladas manualmente o con maquinaria agrícola.

Herbácea: Planta no leñosa, con tallos suaves y flexibles, que generalmente muere en el invierno y vuelve a crecer desde la semilla en la primavera. Las plantas herbáceas incluyen una amplia variedad de especies cultivadas para alimentos, forraje, fibra, ornamentación y otros fines.

Homogénea: Uniforme en composición o estructura. En el contexto agronómico, puede referirse a la distribución uniforme de nutrientes en el suelo, la uniformidad en el tamaño y la calidad de los productos agrícolas, o la consistencia en las prácticas de manejo agrícola.

Inhibidores: Sustancias que reducen o detienen ciertos procesos biológicos, como el crecimiento de microorganismos o el desarrollo de plantas. En agricultura, los inhibidores pueden utilizarse para controlar el crecimiento de malezas, patógenos o insectos, o para regular la actividad fisiológica de las plantas.

Inocular: Introducir microorganismos beneficiosos en el suelo, semillas o plantas para promover el crecimiento o protección de las plantas. La inoculación se utiliza comúnmente para introducir bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos micorrícicos u otros microorganismos benéficos en sistemas agrícolas.

Inóculo: Material biológico que se utiliza para introducir microorganismos beneficiosos en el suelo, las semillas o las plantas. El inóculo puede consistir en esporas, cultivos puros, suspensiones de microorganismos o cualquier otra forma que facilite su aplicación y establecimiento en el medio ambiente.

Lanchado: Un término que se refiere a la acción de sembrar semillas en hileras o surcos en el suelo, generalmente con una herramienta agrícola como una sembradora. El lanchado permite una distribución uniforme de las semillas y facilita el manejo de los cultivos durante su crecimiento.

Macronutrientes: Nutrientes requeridos por las plantas en grandes cantidades para un crecimiento saludable, como nitrógeno, fósforo y potasio. Estos nutrientes son esenciales para funciones vitales de las plantas, como la fotosíntesis, la formación de proteínas y la síntesis de ATP.

Micorrizas: Asociaciones simbióticas entre hongos y las raíces de las plantas que ayudan en la absorción de nutrientes del suelo. Las micorrizas aumentan la capacidad de las plantas para absorber agua y minerales, especialmente fósforo, y pueden mejorar la resistencia de las plantas al estrés abiótico y biótico.

Micronutrientes: Nutrientes necesarios para las plantas en cantidades mucho menores que los macronutrientes, como hierro, zinc y manganeso. Aunque se requieren en cantidades menores, los micronutrientes desempeñan funciones vitales

en el metabolismo de las plantas y pueden afectar significativamente su crecimiento y rendimiento.

Patógenos: Organismos que causan enfermedades en las plantas. Los patógenos pueden ser bacterias, hongos, virus, nematodos u otros microorganismos que infectan y dañan los tejidos de las plantas, reduciendo su crecimiento, rendimiento y calidad.

Promisoria: Que muestra promesa o potencial para un cierto propósito o aplicación. En el contexto agronómico, una variedad de cultivo, un método de producción o una tecnología puede considerarse promisorio si muestra resultados positivos en términos de rendimiento, resistencia a enfermedades, eficiencia de recursos, etc.

Propágulos: Estructuras especializadas que las plantas producen para la reproducción asexual y la propagación. Los propágulos pueden incluir bulbos, rizomas, estolones, tubérculos, esporas, entre otros, y son importantes para la multiplicación y dispersión de las plantas en el medio ambiente.

Pústulas: Pequeñas protuberancias o ampollas en las plantas, típicamente causadas por infecciones fúngicas o bacterianas. Las pústulas pueden contener esporas u otros tejidos infectados y pueden ser un signo de enfermedad que afecta la salud y el rendimiento de las plantas.

Raquis: Eje central de una espiga o de un racimo de frutas donde se insertan los pedicelos. El raquis proporciona soporte estructural a las flores o frutos y facilita su desarrollo y maduración en la planta.

Rhizobium: Género de bacterias simbióticas que forman nódulos en las raíces de las leguminosas y fijan nitrógeno atmosférico. La asociación entre las bacterias del género *Rhizobium* y las plantas leguminosas es importante para la mejora de la fertilidad del suelo y la producción sostenible de cultivos.

Senescencia: El proceso natural de envejecimiento de las células, tejidos, órganos u organismos. En las plantas, la senescencia puede ser parte del ciclo de vida normal, marcando el final de la temporada de crecimiento o la maduración de los frutos, pero también puede ser acelerada por factores estresantes como la sequía, el calor o la enfermedad.

Simbiosis: Relación estrecha y a menudo mutuamente beneficiosa entre dos organismos diferentes. En agricultura, las simbiosis pueden involucrar asociaciones entre plantas y microorganismos beneficiosos, como bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos micorrícicos, o insectos polinizadores.

Vectores: Organismos que transmiten enfermedades de una planta a otra, como insectos, nematodos, ácaros u otros organismos que actúan como portadores de patógenos vegetales. Los vectores pueden ser responsables de la propagación de enfermedades virales, bacterianas o fúngicas en los cultivos agrícolas.

Viróticas: Relacionado con virus, especialmente aquellos que infectan plantas. Las enfermedades viróticas son causadas por virus y pueden tener un impacto significativo en la salud y el rendimiento de los cultivos agrícolas, causando síntomas como manchas, deformaciones, necrosis y reducción del rendimiento.