



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

### TEMA:

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BACTERIAS DIAZÓTROFAS EN EL  
RENDIMIENTO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) CANTÓN ANTONIO ANTE,  
PROVINCIA DE IMBABURA”**

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

### AUTOR:

Edison Humberto Cevallos Mejía

### DIRECTOR:

Ing. Franklin Sánchez, M Sc

Ibarra, 2021

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERIA AGROPECUARIA

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BACTERIAS DIAZÓTROFAS EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener Título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

APROBADO:

Ing. Franklin Sánchez, M Sc

**DIRECTOR**



---

FIRMA

Ing. Marcelo Albuja, M Sc.

**MIEMBRO TRIBUNAL**



---

FIRMA

Ing. Juan Pablo Aragón

**MIEMBRO TRIBUNAL**



---

FIRMA



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004709190		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	CEVALLOS MEJÍA EDISON HUMBERTO		
<b>DIRECCIÓN:</b>	IBARRA		
<b>EMAIL:</b>	ehcevallosm@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0988076787

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BACTERIAS DIAZÓTROFAS EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO ( <i>Triticum aestivum</i> L.) CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”
<b>AUTOR (ES):</b>	Edison Humberto Cevallos Mejía
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	26/02/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA AGROPECUARIA
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	ING.FRANKLIN SÁCHEZ, MSc.

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, al 26 día del mes de febrero del 2021

**EL AUTOR:**

EDISON HUMBERTO CEVALLOS MEJÍA

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Edison Humberto Cevallos Mejía**, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 26 días del mes de febrero de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Franklin Sánchez', written over a horizontal line.

Ing. Franklin Sánchez, M Sc

DIRECTOR DE TESIS

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA-UTN

**Fecha:** Ibarra, a los 26 días del mes de febrero del 2021

**Edison Humberto Cevallos Mejía:** "Evaluación del efecto de Bacterias Diazótrofas en el rendimiento de trigo (*triticum aestivum* L.) cantón Antonio ante, provincia de Imbabura" /Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 01 días del mes de marzo del 2021 X... páginas.

**DIRECTOR (A):** Ing. Franklin Sánchez, M Sc

El objetivo principal de la presente investigación fue:

Evaluar la eficacia de las bacterias diazótrofes en combinación con diferentes dosis de fertilizante químico nitrogenado en el rendimiento del cultivo de trigo.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

Determinar la dinámica de las bacterias diazótrofes en el proceso de colonización para el pre macollamiento del trigo.

Evaluar en condiciones de campo el comportamiento agronómico de trigo bajo la influencia de las Bacterias Diazótrofas.

Realizar un análisis económico en el remplazo de fertilizantes químicos con Bacterias Diazótrofas como biofertilizante en el cultivo de trigo.



**Ing. Franklin Sánchez, M Sc**

**Directora de Trabajo de Grado**



**Edison Humberto Cevallos Mejía**

**Autor**

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica del Norte por brindarme todos los conocimientos académicos y por los préstamos de todos los materiales, herramientas que me permitieron formarme profesionalmente.

A las Instalaciones de la Granja la Pradera en la cual tuve las mejores experiencias de mi vida, emociones, tristezas, conocimientos y triunfos, gracias a todos los trabajadores de la granja (Luchito, Arcisar, Juanito, Wilsiton).

A mi Director Ing. Franklin Sánchez, MSc. por formar parte de toda mi investigación, gracias por brindarme todo ese apoyo incondicional, por ser un excelente docente, por saber guiarme para no decaer en mí trayecto, agradecimientos infinitos a mis asesores Ing. Marcelo Albuja, MSc. y Ing. Juan Pablo Aragón, MSc.

A los Ingenieros y amigos de la carrera de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Técnica del Norte, por brindarme conocimientos y muchas experiencias en especial a mis buenos amigos (Lensy Aupaz, Jovana Caizapasto, Cristian Cusanguá) por formar parte de mi trayectoria estudiantil y buenos consejos.

A mi mejor amigo Lic. Jorge Luis Zambrano, MSc. por toda esa linda trayectoria universitaria y hermandad, a mis buenos amigos Ing. Diego Simbaña y Ing. Estefanía Canacuan quienes fueron la parte fundamental de todo mi desarrollo de tesis a Evelyn López por apoyarme en mi tesis final, gracias por sus consejos conocimientos y amistad.

A una persona especial C.M. por brindarme esa seguridad, dedicación cuando inicié mi carrera Universitaria, por las buenas lecciones de vida y nunca rendirme, por creer en mí cuando yo más lo necesité y que todo en la vida se puede si uno se lo propone.

*Edison Humberto Cevallos Mejía*

## **DEDICATORIA**

*Esto va para mis adorables y queridos padres Humberto y Fanny que fueron el soporte fundamental de trabajo, dedicación, solidaridad, humildad, para que todo esto sea posible, a mis Hermanas Jenny, Elizabeth, Jessica quienes supieron confortarme con un abrazo y sus consejos, gracias por todo su apoyo los quiero mucha familia esto fue por ustedes y para ustedes con la bendición de Dios.*

*Gracias por la vida, pero sobre todo, gracias por estar aquí cada día de mi vida, por enseñarme hacer más fuerte en las decisiones que tome en adelante.*

*Edison Humberto Cevallos Mejía*

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	I
ÍNDICE DE TABLAS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
ÍNDICE DE ANEXOS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
SUMARY .....	X
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Problema .....	3
1.3 Justificación .....	3
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivos General .....	5
1.4.2 Objetivos Específicos .....	5
1.5 Hipótesis .....	5
CAPÍTULO II .....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 Generalidades del cultivo de trigo .....	6
2.2 Clasificación taxonómica .....	6
2.3 Características botánicas del trigo .....	7
2.3.1 Sistema radicular .....	7
2.3.2 Hojas .....	7
2.3.3 Tallo .....	7
2.3.4 Espiga .....	8
2.3.5 Floración .....	8
2.3.6 Fruto .....	8
2.4 Requerimientos edafoclimáticos .....	8
2.4.1 Suelo .....	9
2.4.2 pH .....	9
2.5 Variedad INIAP-Imbabura 2014 .....	10
2.5.1 Características morfológicas INIAP-Imbabura 2014 .....	10
2.5.2 Características agronómicas .....	11



2.6 Particularidades del cultivo.....	11
2.6.1 Época de siembra .....	11
2.6.2 Profundidad de siembra.....	12
2.6.3 Densidad de siembra y siembra mecanizada.....	12
2.7 Factores que influyen en el rendimiento del trigo .....	12
2.8. Riego.....	13
2.9 Bacterias diazótrofas .....	13
2.9.1 Bacterias en producción orgánica .....	14
2.9.2 Funciones principales de Bacterias diazótrofas .....	14
2.10 Marco legal .....	16
CAPÍTULO III .....	19
MARCO METOLÓGICO .....	19
1.6 3.2 Condiciones climáticas .....	19
FASE 1: en laboratorio y vivero del experimento establecido .....	20
3.3 Materiales y Métodos - fase I .....	20
3.3.1 Materiales .....	20
3.3.2 Insumos .....	20
3.3.3 Herramientas manuales .....	20
3.4 Factores en Estudio .....	20
3.6 Diseño experimental fase 1 .....	21
3.7 Características del experimento fase I .....	22
3.8 Variables .....	22
3.8.1 Días a la germinación.....	24
3.8.2 Porcentaje de germinación .....	24
3.8.3 Índice de germinación .....	25
3.8.4 Longitud de raíz .....	25
3.8.5 Peso de raíz.....	26
3.9 Manejo del experimento fase 1 .....	26
3.9.1 Determinación de la viabilidad de las células bacterianas .....	27
3.9.2 Proceso de desinfección en la siembra.....	28
3.9.3 Aplicación de tratamientos en estudio .....	29
FASE 2: en campo del experimento establecido .....	30
3.10 Materiales y Métodos- fase II .....	30
3.10.1 Materiales .....	30

3.10.2 Materiales de laboratorio.....	30
3.10.3 Herramientas manuales .....	31
3.10.4 Insumos .....	31
3.11 Factores en estudio fase II .....	31
Tabla 8 Descripción de los tratamientos en estudio de fase II, en el cultivo de trigo	32
Descripción de los tratamientos en estudio de fase II, en el cultivo de trigo.....	32
3.13 Características del Experimento Fase II .....	32
3.14 Análisis de varianza .....	33
3.15 Diseño experimental campo fase II .....	33
3.16 Variables fase II .....	33
3.16.1 Número promedio de macollos .....	34
3.16.2 Número de espigas por m <sup>2</sup> .....	34
3.16.3 Porcentaje de materia seca .....	35
3.16.4 Contenido foliar N.....	36
3.16.5 Altura de planta .....	37
3.16.6 Rendimiento .....	38
3.16.6 Análisis financiero.....	40
3.17 Manejo del experimento fase II .....	40
3.17.1 Preparación del área en estudio .....	41
3.17.2 Acondicionamiento de suelo .....	41
3.17.3 Siembra.....	42
3.17.4 Aplicación de tratamientos.....	42
3.17.5 Fertilización.....	43
3.17.6 Controles fitosanitarios .....	44
3.17.7 Manejo plagas y enfermedades .....	44
CAPÍTULO IV .....	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
4.1 Fase 1. Considerada como Laboratorio y Vivero .....	45
4.1.1 Días a la germinación.....	45
4.1.2 Porcentaje de germinación .....	47
4.1.3 Índice de germinación .....	48
4.4 Longitud de raíces .....	50
4.1.5 Peso de raíces .....	52
4.2 Fase 2 (Campo).....	54
4.2.1 Macollamiento.....	54

4.2.2 Porcentaje de materia seca .....	56
4.2.3 Altura.....	58
4.2.4 Número de espigas x metro cuadrado .....	60
4.2.5 Contenido foliar de nitrógeno (N).....	62
4.2.6. Rendimiento .....	63
4.2.7 Análisis económico .....	65
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	69
5.1. Conclusiones .....	69
5.2. Recomendaciones .....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía del trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	6
Tabla 2 Descripción morfológica .....	10
Tabla 3 Descripción agronómica de la variedad INIAP-Imbabura 2014 .....	11
Tabla 4 Condiciones ambientales del sitio del experimento .....	19
Tabla 5 Descripción de las dosis y tratamientos en estudio .....	21
Tabla 6 Peculiaridad del ensayo fase I .....	22
Tabla 7 Fases del crecimiento de trigo en la escala Zadoks .....	23
Tabla 8 Descripción de los tratamientos en estudio de fase II, en el cultivo de trigo ....	32
Tabla 9 Características del experimento fase II en el cultivo de trigo .....	32
Tabla 10 Análisis de varianza.....	33
Tabla 11 Requerimiento óptimos de macro y micronutrientes a nivel foliar del cultivo de trigo.....	37
Tabla 12 Requerimientos nutricionales .....	43
Tabla 15 ADEVA de los días de germinación del trigo l.) ADEVA para días de germinación del trigo ( <i>Triticum aestivum</i> l.).....	45
Tabla 17 ADEVA índice de germinación de la semilla de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	48
Tabla 18 Longitud de raíces .....	50
Tabla 19 ADEVA de peso de raíces ADEVA de Peso de raíces .....	52
Tabla 20 ADEVA de número de macollos .....	54
Tabla 21 ADEVA materia seca ADEVA materia seca .....	57
Tabla 22 Tabla de medias y errores estandar LSD fisher (alfa=0.05).....	57
Tabla 23 ADEVA Altura de planta ADEVA Altura .....	58
Tabla 24 ADEVA número de espigas .....	60
Tabla 25 Rendimiento de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	63
Tabla 26 Análisis económico por tratamiento expresado en hectáreas del cultivo de trigo .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dinámica de iniciación de hojas, espiguillas y flores a lo largo del desarrollo cultivo de trigo.....	9
Figura 2. Mapa de ubicación del ensayo del cultivo de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	19
Figura 3. Distribución de ensayo fase I.....	21
Figura 4. Elongación del coleóptilo en la germinación del trigo.....	24
Figura 5. Emergencia del coleóptilo en la semilla de trigo.....	24
Figura 6. Conteo final de % de germinación de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	25
Figura 7. Fase I (vivero), medición de raíz por cada unidad experimental.....	26
Figura 8. Repetición del testigo, valor más bajo de los pesos obtenidos.....	26
Figura 9. Activación de Bacterias Diazótrofas y conteo de células bacterianas.....	27
Figura 10. Diluciones cereadas para obtener las concentraciones de Bacterias Diazótrofas.....	28
Figura 11. Inoculación de 3 diferentes concentraciones de Bacterias Diazótrofas.....	29
Figura 12. Siembra de semillas de Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.), inoculadas de Bacterias Diazótrofas.....	29
Figura 13. Diseño real de Fase I en vivero.....	30
Figura 14. Distribución de Ensayo fase II del cultivo de trigo.....	33
Figura 15. Conteo de macollos en cada unidad experimental.....	34
Figura 16. Herramienta de metro cuadrado.....	34
Figura 17. Formación de espiga de trigo etapa Z5-Zadoks.....	35
Figura 18. Pesaje total de materia seca.....	35
Figura 19. Corte de hojas para el previo análisis foliar de Nitrógeno.....	36
Figura 20. Muestreo de hojas que se envió a la empresa Agrar Projekt.....	36
Figura 21. Medición de altura a los 17 días después de la siembra.....	38
Figura 22. Recolección del material vegetal trigo, fase final.....	38
Figura 23. Cosecha del trigo en campo.....	39
Figura 24. Preparación del suelo y delimitación de la parcela. del suelo y delimitación de la parcela.....	41
Figura 25. Incorporación de materia orgánica en los tratamientos en estudio.....	41
Figura 26. Inoculación de Bacteria Diazótrofa para llevarla a campo.....	42
Figura 27. Herramientas y forma de aplicación de la Bacteria Diazótrofa.....	43
Figura 28. Fertilización Nitrogenada en el cultivo de trigo.....	43
Figura 29. Días de germinación después de la siembra de trigo ( <i>Triticum Aestivum</i> L.).....	46
Figura 30. Porcentaje de germinación en semillas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.), utilizando bacterias diazótrofas.....	47
Figura 31. Índice de germinación de la semilla de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	49
Figura 32. Longitud de raíces de la planta de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	51
Figura 33. Peso de raíces de plantas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.), con aplicación de bacterias diazótrofas.....	53
Figura 34. Número promedio de macollos en el cultivo de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	55
Figura 35. Altura de la planta de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	59
Figura 36. Número de espigas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	61
Figura 37. Contenido foliar de nitrógeno en el cultivo de trigo.....	62
Figura 38. Rendimiento de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	64

Figura 39. Relación Beneficio costo de los tratamientos en estudio. ....67

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultado del análisis químico del suelo del área de estudio para el cultivo de trigo.....	81
Anexo 2. Resultado del análisis foliar del cultivo de trigo.....	82
Anexo 3. Costos de producción por parcela y por hectárea de los tratamientos 1, 2 y 3 del cultivo de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> ).....	83
Anexo 4. Costos de producción por parcela y por hectárea de los tratamientos 4 y 5 del cultivo de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> ).....	84

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BACTERIAS DIAZÓTROFAS EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”**

Autor /es\*: Edison Humberto Cevallos Mejía

\*Universidad Técnica del Norte

Correo: ehcevallosm@utn.edu.ec

**RESUMEN**

El consumo de trigo en el Ecuador es de 500 mil Tm/año con rendimientos de 4000 kg ha<sup>-1</sup> por año, cada año el uso de fertilizante químicos y de plaguicidas aumenta para alcanzar ese rendimiento, la investigación tuvo como finalidad evaluar la eficacia de las bacterias diazótrofes en combinación con diferentes dosis de fertilizante químico nitrogenado en el rendimiento del cultivo de trigo, determinar la dinámica de las bacterias diazótrofes (BD) en el proceso de colonización para el pre-macollamiento y el comportamiento agronómico de trigo bajo la influencia de las BD, se realizó en la Granja Experimental “La Pradera”, provincia de Imbabura. Se evaluaron en 2 Fases, Fase1: tratamientos con BD  $2 \times 10^9$ ,  $2 \times 10^8$ ,  $2 \times 10^7$  UFC/ml y testigo, mediante la evaluación de días de germinación, longitud y peso de raíz; en la Fase 2 se empleó 5 tratamientos siendo BD+25%, 50% y 75%N, 100%N y 100% BD, se valoró altura de planta, contenido de materia seca y foliar, número de macollos, espigas/m<sup>2</sup>, rendimiento y análisis económicos. La mejor dosis fue  $2 \times 10^8$  UFC/ml de BD se obtuvo un 90% de germinación, longitud y peso de raíces de 28 cm y 0.29 mg. En la Fase2, número de macollos 1 a 3, espigas por m<sup>2</sup> un promedio de 160, el rendimiento fue superior en BD+50% Y BD+75% siendo de 5400 y 6600 kg ha<sup>-1</sup>, el B/C fue positivo en los tratamientos 1,2 ,3 y 5, siendo superior en T3 con 1.89. Por lo que es posible sustituir la fertilización química por la biofertilización, debido a que se redujo en un 25% el N.

**Palabras Clave:** Bacterias diazótrofes, fertilizante químico, colonización, pre-macollamiento, *Azospirillum*



**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BACTERIAS DIAZÓTROFAS EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”**

Autor /es\*: Edison Humberto Cevallos Mejía

\*Universidad Técnica del Norte

Correo: ehcevallosm@utn.edu.ec

**SUMMARY**

The consumption of wheat in Ecuador is 500 thousand Tm / year with yields of 4000 kg ha-1 per year, each year the use of chemical fertilizers and pesticides increases to achieve that yield, the research aimed to evaluate the effectiveness of diazotrophic bacteria in combination with different doses of chemical nitrogen fertilizer in wheat crop yield, determine the dynamics of diazotrophic bacteria (BD) in the colonization process for pre-tillering and the agronomic behavior of wheat under the influence of the BD was carried out at the “La Pradera” Experimental Farm, Imbabura province. They were evaluated in 2 Phases, Phase 1: treatments with BD  $2 \times 10^9$ ,  $2 \times 10^8$ ,  $2 \times 10^7$  UFC/ ml and control, by evaluating germination days, length and root weight; In Phase 2, 5 treatments were used, being BD + 25%, 50% and 75% N, 100% N and 100% BD, plant height, dry and foliar matter content, number of tillers, spikes / m<sup>2</sup>, were evaluated economic performance and analysis. The best dose was  $2 \times 10^8$  CFU / ml of BD, 90% germination, length and root weight of 28 cm and 0.29 mg were obtained. In Phase 2, number of tillers 1 to 3, ears per m<sup>2</sup> an average of 160, the yield was higher in BD + 50% and BD + 75% being 5400 and 6600 kg ha-1, the B / C was positive in treatments 1,2,3 and 5, being higher in T3 with 1.89. Therefore, it is possible to substitute chemical fertilization for biofertilization, due to the fact that the N. was reduced by 25%.

**Key Words:** Diazotrophic bacteria, chemical fertilizer, colonization, pre-tillering, *Azospirillum*

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El trigo es originario de los países asiáticos (Occidental, Central Mediterráneo) así lo mencionó (Moreno, 2001). En 1535, el Fray Jodoco Ricke introdujo en Ecuador el trigo, el cual se cultiva a lo largo de toda la Sierra desde altitudes de 1800 a 3500 m (Martínez, 2006).

El consumo nacional de trigo supera las 500 Tm/año de lo cual, el país escasamente produce un 2% y de esta manera un 98% es importado en su mayoría desde Canadá y Estados Unidos (Sistema de la Integración Centroamericana, 2015), resultando un consumo per cápita superior a 30 kg/año (Sistema de la Integración Centroamericana SICA, 2015). Por otro lado, el rendimiento de trigo es de 4000 kg ha<sup>-1</sup> por año en tanto que en países con mayor desarrollo alcanzan los 6000 kg ha<sup>-1</sup> (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, 2017).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2014) menciona que la producción mundial de trigo es alrededor de 567 millones de kilogramos siendo los principales productores: China 17.30%, USA. 11.50%, India 9.40%, Rusia 7.9%, Canadá 20.10%, Francia 16.30%, Australia 9.90% y Argentina 5.50%. El trigo junto con el arroz y la cebada son los cereales de mayor importancia en Ecuador (Canziani y Guimaras, 2009).

La dependencia de las importaciones de trigo de los países en desarrollo (excluidos los exportadores como Argentina y Uruguay) debe continuar creciendo, y se espera que las importaciones netas de trigo aumenten de 72 millones de toneladas anuales en los 1997-99 a 160 millones de toneladas en los países mencionados el año 2030 (Infobae, 2014).

Por ello el cultivo de trigo al formar parte importante de la rotación de cultivos, se requiere realizar un diagnóstico, el cual permita poner énfasis en la tecnología de fertilización, para realizar un adecuado diagnóstico nutricional del suelo y la fórmula de fertilización, para la optimización del nitrógeno. También la finalidad sea armonizar la productividad

y la calidad del grano producido mediante la difusión de tecnologías de fertilización, se incrementará la productividad y rentabilidad del cultivo de trigo (Campillo, 2013).

Por otra parte, el trigo suministra proteínas, aproximadamente de 11g por cada 100g, en donde la mayoría de los países industrializados la harina de trigo se fortifica con vitamina B y algunas veces con hierro y otros nutrientes, siendo este producto atractivo para el consumo humano y por su alto contenido vitamínico Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2014).

Sin embargo, en los últimos años para producir los 77 millones de kg de fertilizantes nitrogenados usados cada año en el mundo se requieren 100 mil gramos de combustible. Además, en el año 2020 solo para la producción de cereales se estima serán requeridos 160 millones de kg de fertilizante nitrogenado así lo indican (Dibut y Martínez, 2006).

Los fenómenos naturales los cuales están relacionados con la declinación de la fertilidad y acidificación del suelo generando que se vaya perdiendo de cationes básicos calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na), así mismo otros factores que tienen efecto son las bacterias reconocidas en seis especies en el género *Azospirillum* spp., las dos primeras están descritas como *A.lipoferum* y *A.brasilisense* (Ferraris y Faggioli, 2010).

En particular, las bacterias diazotróficas incluyen representantes de arqueobacterias, cianobacterias y bacterias Gram positivas y negativas, están representadas por diversos grupos filogenéticos que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, pueden vivir libres en diversos ecosistemas, establecer simbiosis o estar asociadas a las plantas (Loredo, López y Espinoza, 2004). Sin embargo, se ubican en diferentes géneros como *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Dexia*, *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Burkholderia*, *Gluconacetobacter*, *Azoarcus*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Pantoea*, *Citrobacter* y *Serratia* así lo asegura (Obando, 2010).

Las bacterias diazotróficas permiten el desarrollo y nutrición de la planta, así como el aumento de la tolerancia a un estrés (Loredo, López y Espinoza, 2004). Además, intervienen en la agricultura como intermediarias en el proceso de fijación biológica, reduciendo el nitrógeno atmosférico no asimilable por las plantas en amonio, supliendo carencias de este elemento (Olivares, 2008). Así como mejorando la absorción de agua y nutrientes, solubilizando los fosfatos di y tricálcicos y otros minerales, inhibiendo el

crecimiento de microorganismos patógenos y produciendo sideróforos, que son los iniciadores de la resistencia sistémica inducida (Torriente, 2010).

## 1.2 Problema

El incremento del uso de fertilizantes, como fuentes de energía no renovables, se convirtió en un factor limitante para aumentar los rendimientos agrícolas, se necesitan 1.3 mg de combustible para fijar 1 mg de nitrógeno atmosférico (N<sub>2</sub>), con alta presión y temperatura a través del proceso industrial de Haber-Bosch (Montejo, Casanova, García, Díaz y Morales, 2018). De igual forma, para la elaboración de fertilizantes químicos nitrogenados es necesario el uso de grandes cantidades de energía física y química (Campo, 2011) y (Moreno, Ramírez, Plana y Iglesias, 2001).

Por otra parte de acuerdo a Llive, (2016) en Ecuador se determina que es un país que dependen de los fertilizantes para poder suplir a la demanda interna de macronutrientes como: nitrógenos, fosforo y potasio, en donde se aplican 460.39 kg ha<sup>-1</sup> de abonos nitrogenados anualmente para suplementar la necesidad del nitrógeno en los cultivos, los cuales se aplican en áreas cultivables que son de 4620 ha en el Ecuador.

Por lo que los cereales son cultivos de aporte extra de nitrógeno (N) para poder cumplir sus necesidades, entre estos cereales se puede encontrar al trigo, de tal forma que este cultivo requiere entre 80 a 93 kg de N ha<sup>-1</sup> para producir 1000 kg de grano ocasionando la perdida de fertilidad del suelo así lo menciono por Clavijo et al., (2012).

Sin embargo, en los últimos años se ha encontrado que la suplementación de nitrógeno vía fertilizantes sintéticos genera muchos problemas tales como contaminación de aguas freáticas, efecto invernadero, contaminación de suelo, emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y volatilización de nitrógeno así lo mencionan Montejo, Casanova, García, Díaz y Morales (2018).

## 1.3 Justificación

*Azospirillum* spp. es una bacteria que pertenece a la subclase alfa de las proteobacterias de la familia Rhodospirillaceae, siendo *A. lipoferum* la especie ideal, para Bashan (1999), las especies de *Azospirillum* spp usadas para el crecimiento de unos pocos monosacáridos, disacáridos, alcoholes, polihidrocilados y principalmente ácidos orgánicos como málico

y succinino, *azospirillum* spp, puede utilizar un amplio rango de sustratos como amonio, nitrato, nitrito, aminoácidos y nitrógeno molecular (Caballero, 2006).

Benjumeda (2017), indica que promueve el crecimiento de la planta y proliferación de microorganismos benéficos para el suelo. Otra característica en donde la bacteria sea ideal para la biofertilización es su capacidad de generar fitohormonas tales como auxinas, giberelinas y citoquininas (Clavijo, Chipana, Centeno y Zuñiga, 2012). De esta manera en diversos ambientes edáficos inducen a cambios fisiológicos y morfológicos en las raíces haciendo que incrementen longitud de raíz, número de raíces secundarias y pelos radicales de las plantas lo que ayuda en la absorción de agua y minerales así lo afirmo (Prévost, Becquer y Juge, 2012).

Las bacterias diazótrofes favorecen a las plantas a través de diferentes mecanismos que se pueden resumir en: la fijación biológica del nitrógeno, síntesis de fitohormonas como las auxinas (fundamentalmente el ácido indolacético AIA), promoción del crecimiento de la raíz y proliferación de pelos radicales (Torriente, 2010).

Las bacterias diazótrofes en especial *azospirillum* spp. Se asocia con cereales de tal manera que se ha encontrado que la inoculación con *Azospirillum brasilense* puede incrementar el rendimiento del grano de trigo en donde Okon y Labandera-Gonzalez (1994), y Dobbelaere et al., (2001) encontraron incrementos hasta un 30% de producción de grano en condiciones de campo, pero únicamente en condiciones de fertilización baja en N (50–60 kg N ha<sup>-1</sup>). Mientras que en condiciones de alta fertilización nitrogenada (110–170 kg N ha<sup>-1</sup>), los efectos no fueron significativos con *Azospirillum* spp., (Moreno, Ramírez, Plana y Iglesias, 2001).

Hernández, Rivers, Acebo, Díaz y Divan (2014), mencionan que la bacteria *Azospirillum* spp., puede promover la producción de hormonas vegetales y enzimas pectinolíticas, que favorecen la formación de raíces, así como hay un incremento en producción de exudados, lo que promueve el crecimiento de otros organismos rizosféricos. Van de Broek et al., (2005) indican que la síntesis de altas cantidades de auxinas *in vitro*, se considera un parámetro útil para la selección de cepas nativas de *Azospirillum* spp. a utilizarse en la producción de biofertilizantes, puesto que promueven un mayor crecimiento vegetal.

La agricultura moderna busca reducir el uso de fertilizantes ya que los fertilizantes nitrogenados causan la contaminación de aguas subterráneas entre otros prejuicios al

ambiente. Es por eso, que se busca reducir o suplir el uso de la fertilización nitrogenada química con el uso de la combinación de la bacteria fijadora de nitrógeno diazótrofas, puesto que constituyen una alternativa agroecológica para la producción del trigo.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivos General**

Evaluar la eficacia de las bacterias diazótrofas en combinación con diferentes dosis de fertilizante químico nitrogenado en el rendimiento del cultivo de trigo.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Determinar la dinámica de las bacterias diazótrofas en el proceso de colonización para el pre-macollamiento del trigo.

Evaluar en condiciones de campo el comportamiento agronómico de trigo bajo la influencia de las bacterias diazótrofas.

Realizar un análisis económico en el reemplazo de fertilizantes químicos con bacterias diazótrofas como biofertilizante en el cultivo de trigo.

## **1.5 Hipótesis**

**Ha:** La aplicación del biofertilizante a base de las bacterias diazotróficas tiene un efecto en el rendimiento de trigo.

**Ho:** La aplicación del biofertilizante a base de las bacterias diazotróficas, no tiene efecto en el rendimiento de trigo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Generalidades del cultivo de trigo

El inicio del cultivo de plantas fue originalmente descrito como la revolución neolítica, de esta manera para el trigo, es probable que su cultivo se iniciase alrededor del 12000 años antes de la actualidad (Rangel y otros, 2014). Estudios con marcadores moleculares han mostrado que todas las formas cultivadas tienen su origen en las montañas al suroeste de Turquía, desde donde se distribuye hacia el norte y el sur de Mesopotamia alrededor de 10000 a. C., posteriormente, se distribuyó a lo largo de toda la cuenca mediterránea, hasta llegar a Italia y España alrededor de los años 7000 a. C. (Veintimilla, 2008).

Por otra parte, el trigo ha formado parte del desarrollo económico y cultural del hombre, a su vez siendo el cereal más cultivado en la historia (Garrido, 2015). El trigo es considerado un alimento básico para el consumo humano y la propiedad más importante es la capacidad de su harina para formar pan voluminoso, debido a su gran elasticidad del gluten que contiene, puesto que el trigo se cultiva en todo el mundo por su alto contenido nutricional, siendo la principal área de cultivo del hemisferio norte (Infoagro, 2015).

#### 2.2 Clasificación taxonómica

Comprende alrededor de 30 tipos de trigo que tienen suficientes diferencias genéticas como para ser consideradas especies distintas o subespecies, en la Tabla 1 se detalla la taxonomía del trigo (Martínez, García, y González, 2010).

Tabla 1

*Taxonomía del trigo (Triticum aestivum L.)*

Taxonomía del Trigo ( <i>Triticum aestivum L.</i> )	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Pooideae

Tribu	Triticeae
Género	Triticum L
Especie	Aestivum
Nombre científico	<i>Triticum aestivum</i> L.
Nombre común	Trigo harinero

Fuente: CIMMYT (2011)

## 2.3 Características botánicas del trigo

### 2.3.1 Sistema radicular

Para Carrera (2005) indica que es un órgano fibroso, formado por raíces adventicias, raíces permanentes y raíces primarias, estas raíces permanentes nacen después de emerger la planta en el suelo, así las raíces adventicias son las que nacen después de los nudos que están cerca de la superficie del suelo y su objetivo es darle suficiente sostén para la planta por las inclemencias del tiempo, de esta manera las raíces primarias hacen la absorción de nutrimentos y agua del suelo para completar el ciclo del cultivo.

### 2.3.2 Hojas

La hoja del trigo nace en los nudos, el número de hojas será proporcional al número de nudos obviamente formado por vainas y limbo, estas dos partes reciben el nombre de cuello, entre la separación del cuello y limbo existe una parte membranosa que se conoce como lígula, así la longitud de la hoja varía de 15–25 cm y de 0.5–1.0 cm de ancho (Guerrero, 1999).

### 2.3.3 Tallo

Según Cruz (1991), señala que es una caña cilíndrica, está formado por nudos y entrenudos huecos, la altura del tallo depende del clima y de la variedad del trigo, normalmente son de 60-120 cm, de esta manera existen trigos enanos que varían de 25-30 cm y trigos muy altos de 120 a 180 cm.

Caroca, Zapata y Vargas (2016) mencionan que los que tienen importancia económica y comercial son los trigos semi - enanos que van de 50 a 70 cm, de esta forma cuando el estado de plántula los nudos están muy juntos y se encuentran cerca de la superficie del



suelo. De esta forma la planta se desarrolle y cambie de tamaño y forma, emitiendo brotes que dan lugar a otros tallos a los que se denomina macollos (Guerrero, 1999).

### **2.3.4 Espiga**

Como manifiesta Riquelme (2004) está compuesta por espiguillas formados alternadamente sobre un raquis o eje central, las espigas contienen dos o más flores que formaran el grano varía de 2–4 el número de espiguillas varía de 8-12, según sea la especie, variedad del trigo, concentración de nutrimentos presentes en el suelo, así como el manejo integrado del cultivo.

### **2.3.5 Floración**

Según Caroca, Zapata y Vargas (2016) inicia después de aparecer la espiga, las flores aparecen primero del tallo principal, de esta manera la floración se inicia en la parte superior de la espiga requiriendo 2 a 3 días para completar la misma. Puesto que para algunas glumas suelen abrirse las anteras y se asumen entre las glumas y una parte del polen esparcido fuera de las flores en donde se fecunda (Carrera, 2005).

### **2.3.6 Fruto**

Riquelme (2004) menciona que es un grano de forma ovoide, que se desarrolla después de la polinización alcanzando un tamaño normal de 0.3–0.4 cm, formado por una ranura en la parte ventral; en un extremo lleva el germen y en el otro tiene una pubescencia llamada brocha. El grano está formado por pericarpio de color rojo según las variedades y el resto en la parte del grano está formado por endospermo, de esta manera el grano contiene un 70% de almidón, 12% de proteínas y un 1.7% de grasa (Carrera, 2005).

## **2.4 Requerimientos edafoclimáticos**

De acuerdo a los autores Caroca, Zapata y Vargas, (2016), la temperatura máxima para la germinación de la semilla de trigo debe estar entre 0 °C – 32 °C, como se observa en la Figura 1. Sin embargo, después de rebasar ésta, la temperatura de la superficie del suelo aumenta hasta alcanzar 45 °C lo que disminuye la germinación de la semilla”.

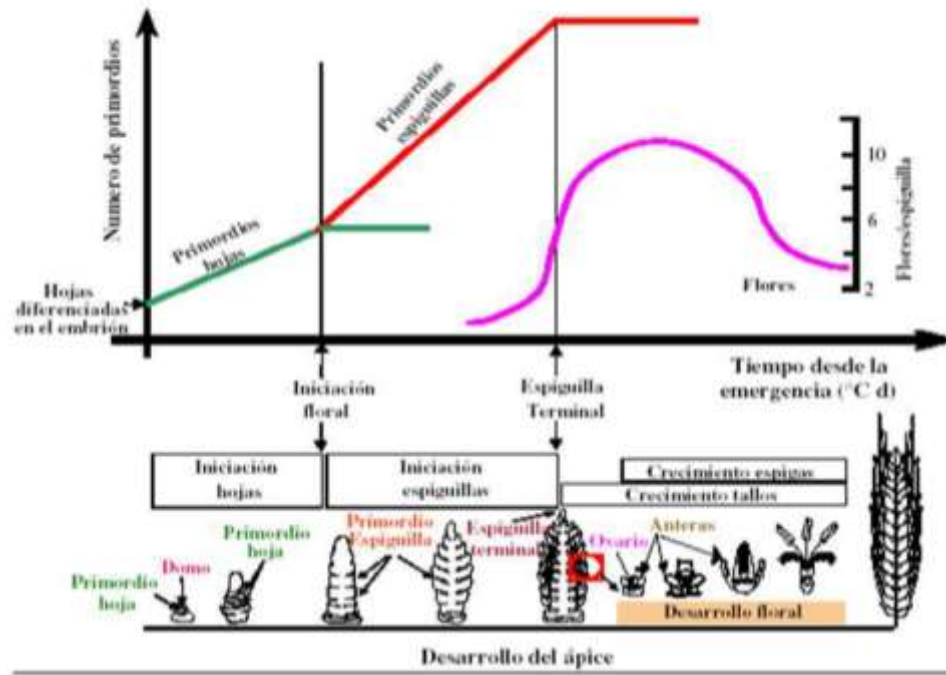


Figura 1. Dinámica de iniciación de hojas, espiguillas y flores a lo largo del desarrollo cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.).

Fuente: FAO (2008)

#### 2.4.1 Suelo

Los mejores suelos para el trigo son los de pradera, con buena fertilidad, adecuada capacidad de retención del agua y buen drenaje de esta forma el trigo requiere suelos de textura mediana a pesada, franco - limoso o franco-arcillosos, aunque también se desarrolla bien en suelos franco – arenosos - arcillosos. Para producir una buena cosecha se requiere suelos fértiles, con adecuada cantidad de nitrógeno (Flores, Valero, Osuna, Corral y Salazar, 2013).

#### 2.4.2 pH

Al aumentar el pH la solubilidad de Mn, Fe, Cu, y Zn baja notablemente en el suelo. Los síntomas de hierro ocurren en la producción de sistemas de trigo, cuando el pH del suelo excede de 8.0 la configuración del hierro clórico forma figuras y campos irregulares y generalmente ocurre individualmente en áreas erosionadas o en áreas que pueden ser para riego con contenidos bajos de materia orgánica en la superficie (Flores, Valero, Osuna, Corral y Salazar, 2013).

Las deficiencias Zn, Cu, y Mn debido a la alcalinidad no son problemas severos para producir, cuando el pH es más bajo de lo indicado, disminuye el rendimiento, el suelo se vuelve ácido, para estas cuestiones se hacen aplicación de sustancias químicas para recuperar las características del suelo FAO (2014).

## 2.5 Variedad INIAP-Imbabura 2014

Es una línea de trigo harinero que se desarrolla en el Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo CIMMYT (2011) en México, fue registrada con el nombre de TINAMOU. De esta manera la variedad INIAP-Imbabura 2014 fue introducida al Ecuador en los años de 1999 en un vivero llamado High Rainfall Wheat Screening Nursey INIAP (2015).

La variedad desde su introducción fue evaluada y seleccionada con las características deseables en los años de 2000 a 2004 en los ensayos de la Estación Experimental Santa Catalina, por el cual la variedad tuvo una buena adaptación en zonas trigueras, de esta manera fueron evaluada en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Azuay, en altitudes de 2000 a 3000 m, con precipitaciones de 400 a 500 mm durante todo el ciclo, es así que esta variedad fue seleccionada por los agricultores de las diferentes provincia de la Sierra Ecuatoriana INIAP (2015).

### 2.5.1 Características morfológicas INIAP-Imbabura 2014

En la Tabla 2 se observa todas las características de la variedad de todo su ciclo vegetativo, reproductivo y maduración.

Tabla 2

*Descripción morfológica del cultivo de trigo (Triticum aestivum L.)*

Características	Descripción
Número de Espigas por m <sup>2</sup>	300
Número de granos por espiga	45
Tipo de espiga	Compacta
Tipo de grano	Oblongo

Color de grano	Rojo
Tipo de tallo	Resistencia al acame
Altura de planta (cm)	105
Tamaño de espiga (cm)	11

---

**Fuente:** INIAP (2015)

## 2.5.2 Características agronómicas

Es importante saber en una variedad las características agronómicas, puesto que, si no se tiene descripción de ciclos, rendimiento, peso de granos o resistencias a enfermedades, no se podría introducir a campo en zonas trigueras para producción, en la Tabla 3 se detalla:

Tabla 3

*Descripción agronómica de la variedad INIAP-Imbabura 2014*

Características	Descripción
Ciclo del cultivo	160-180
Días de la germinación	85
Rendimiento ( kg ha <sup>-1</sup> )	4000
Peso de 1000 granos (g)	45
Reacción a enfermedades:	
- Roya Amarilla	Resistencia Parcial
- Roya de la Hoja	Resistencia Parcial
- Fusarium	Resistencia Parcial

---

**Fuente:** INIAP (2015)

## 2.6 Particularidades del cultivo

### 2.6.1 Época de siembra

La siembra del trigo en Ecuador se realiza en dos temporadas, en las zonas altas correspondiente a las provincias de Chimborazo, Carchi, Imbabura, Cotopaxi y Pichicha en los meses de Septiembre a Diciembre y en la zonas bajas en Loja y Cañar en los meses de Enero a Marzo (INIAP, 2014).

### **2.6.2 Profundidad de siembra**

La siembra debe realizarse en surcos separados a una distancia entre 15 y 20 cm., en general suele estar a 17 cm, a una profundidad de siembra de 3-6 cm (Garrido, 2015). Únicamente se sembrará a mayor profundidad en los siguientes casos: en tierras muy sueltas, donde las semillas, una vez germinadas, puedan estar expuestas a la desecación. Por otra parte, en siembras tardías, pues conviene proteger al trigo de las heladas (Infoagro, 2015).

### **2.6.3 Densidad de siembra y siembra mecanizada**

Para el cultivo de trigo se emplea una densidad de siembra de 300-400 semillas/m<sup>2</sup> (de 100 a 130 kilos semillas/ha), con un mínimo de 80% de poder germinativo (Infoagro, 2015).

En tanto que la siembra puede ser manual o mecanizada, en la siembra manual el agricultor siembra al voleo con un puñado y luego lo cubre la semilla con el uso de yunta o tractor. Por otro lado, la mecanización es un método de siembra que presenta diversas ventajas sobre la siembra a voleo o a chorrillo Luis, Veintimilla, Torres y Camarasa, (2008):

- Ahorro de semilla entre el 30-50%
- Uniformidad en la distribución de los surcos
- Establecimiento de la profundidad de siembra según las necesidades
- Permite el laboreo entre líneas

### **2.7 Factores que influyen en el rendimiento del trigo**

Por su gran afectación en los rendimientos, se destacan los principales factores preparación, tipo de suelo y su fertilidad (Moreno, Ramírez, Plana y Iglesias 2010):

- Preparación, tipo de suelo y su fertilidad
- Riego por aspersión
- Altas temperaturas
- Época de siembra
- Densidad de siembra

- Fertilización
- Control de malezas.

## **2.8. Riego**

Para que este cultivo produzca los máximos rendimientos por hectárea, es necesario que se cuente con cantidades de agua suficientes para el riego y en fechas oportunas, sobre todo si se han usado fertilizantes (Moreno et al., 2010). El riego debe aplicarse antes de que la planta muestre síntomas de sequía, lo cual debe apreciarse por el enrollamiento de las hojas o porque se empiezan a secar las puntas (Garrido, 2015). Este mismo autor estima que para producir 1 kg de materia seca se emplean 540 mm de agua como promedio y que la eficiencia del uso del agua puede variar de 225 a más de 1 000 unidades de agua por unidad de materia seca (Infoagro, 2015).

Cerca de un tercio de la humedad aprovechable es fácilmente disponible. A medida que se va secando el suelo es más difícil para las plantas extraer agua, por la que comúnmente se riega antes que el contenido de agua llegue a PMP, de esta forma, se fija un “Umbral de Riego” que es un porcentaje de la Humedad Aprovechable que tiene que consumirse antes de que se riegue de nuevo (Garrido, 2015).

## **2.9 Bacterias diazótrofes**

Son microorganismos que se incluyen actrices no solo de bacterias gran positivas y negativas sino también de arqueas y cianobacterias, en la cual posee una gran diversidad morfológica y genética (Aguilar, 2015). De esta forma las bacterias diazotróficas tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, pueden vivir libres de diversos ecosistemas, y así establecer simbiosis o estar asociadas con algunas plantas (Caballero, 2006).

### **2.9.1. Origen de las bacterias**

Las bacterias son de vida libre o simbiótica que habitan en la rizósfera de las plantas (la parte del suelo inmediata a las raíces). Cuando se localizan en estructuras especializadas, como nódulos en leguminosas, se establece una simbiosis mutualista estricta. En cambio, cuando las rizobacterias aprovechan el microambiente favorable de la planta, sin formar nódulos en la raíz, se habla de una simbiosis asociativa (Prevóst et al., 2012).

En la actualidad ante la necesidad del uso de fertilización biológica u orgánica, la ciencia ha optado por realizar siembra de los organismos nativos. Con el objetivo mejorar la eficacia del mismo, mediante distintos estudios a los cuales se ha sometido (Hernández et al, 2018).

### **2.9.2. Presentación comercial de la bacteria**

La bacteria diazótrofas no se encuentra generalmente en las casas comerciales de la ciudad en estado puro, para la investigación se adquirió en Guayaquil en la HAB- IBO S.A empresa dedicada a la comercialización de biofertilizantes a base de microorganismos vivos.

La bacteria se encuentra en estado líquido en presentaciones de 1 litro, para activar el producto se realiza una dilución en agua y para el conteo de unidades formadoras de colonia (UFC), se realiza una siembra en el medio de cultivo en laboratorio.

### **2.9.3. Bacterias en producción orgánica**

En algunos beneficios de estas bacterias se mencionan, que establecen y aceleran los procesos bioquímicos que influyen en el crecimiento y desarrollo las plantas, en lo cual se asocia en un aumento de elementos químicos disponibles y producción de sustancias de crecimiento o de control de patógenos (Moreno y Galvis, 2013).

De esta forma Moreno, Ramírez y Iglesias (2001) indican que la adaptación de bacterias diazotróficas en ambientes rizosféricos, probablemente se inicia con la germinación de la semilla, la cual exuda infinidad de compuestos orgánicos que forman parte fundamental de la espermosfera, de esta manera, la exudación de compuestos será a través de las raíces durante el desarrollo de la planta.

### **2.9.4. Funciones principales de Bacterias diazótrofas**

#### ***2.9.4.1 Fijación biológica de Nitrógeno.***

El principal factor nutricional que limita el crecimiento de las plantas en los agroecosistemas mundiales es el Nitrógeno, ya que este se convierte en un componente esencial en las estructuras básicas de la vida, tales como son los ácidos nucleicos y la conformación de proteínas Zulay, Madiedo y Moreno (2016). Por otro lado, (nitrógeno atmosférico N<sub>2</sub>) para poder ser asimilado y usado por las plantas se dice, que debe ser

reducido y luego “fijado” en la forma de iones amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), de esta manera los microorganismos procariotas como las bacterias diazotróficas con la ayuda de una enzima compleja llamada nitrogenasa, ayuda al proceso conocido como fijación biológica del nitrógeno (Aguilar, 2015).

Cabe recalcar que los fijadores de nitrógeno incluyen dos variantes: unos de ellos fijadores simbióticos en asociación con las plantas y los asimbióticos que son llamados de vida libre que proporcionan compuestos nitrogenados como amonio, y de esta forma aprovechados por los vegetales (Caballero, 2006). Se menciona que numerosas bacterias de los géneros *Azotobacter sp*, *Azospirillum sp*, y *Pseudomonas* son eficientes fijadores asimbióticos de nitrógeno (Moreno et al, 2001).

La concentración de oxígeno ( $\text{O}_2$ ), nos menciona que las bacterias afectan al proceso de fijación, de esta forma existen bacterias que utilizan mecanismos para proteger la nitrogenasa y bacterias que en presencia de altas concentraciones de ( $\text{O}_2$ ), pueden no fijar nitrógeno Zulay et al. (2016). Estudios afirman que el pH es un factor que puede afectar el crecimiento de algunas bacterias fijadoras, además de afectar la fijación biológica del nitrógeno (Clavijo et al, 2012).

Moreno y Galvis (2013) afirman que, los valores de pH neutro o ácido favorecen el crecimiento de las diazótrofes, y que existen reportes de bacterias como *Azotobacter Chroococcum* o *Azotobacter vinelandii* que crecen adecuadamente a pH neutro y otras como del género de *Beijerinckia* que crecen a pH ácido.

#### ***2.9.4.2 Producción de reguladores de crecimiento vegetal***

Las bacterias diazotróficas se dice que son promotoras del desarrollo de las plantas, por ende, no solo permiten la fijación de nitrógeno sino también a su gran capacidad sintetizan metabolitos o sustancias que son reguladoras de crecimiento tales como: auxinas, giberelinas, etileno y ácido abscísico (Correndo y García, 2016). De esta manera (como se citó en Loredó et al., 2004) menciona “que es una respuesta de la bacteria a la producción de otras sustancias de la planta hacia la rizosfera”.

En efecto los reguladores de crecimiento en las plantas se muestran principalmente modificando la morfología, superficie y actividad enzimática radical, de esta forma beneficiando el crecimiento de la parte aérea (Clavijo et al., 2012). Por otra parte, estudios



mencionan que la intervención de bacterias diazotróficas interviene en la morfogénesis de la raíz, se explica en gran medida el crecimiento vegetal, pues durante este proceso aumenta el número pelos radicales, así como las raíces laterales, lo que conduce a una buena capacidad de absorción de agua y nutrientes por parte de la planta, además influyendo en el intercambio del ambiente de la rizosfera e incrementos en el rendimiento del cultivo (Moreno y Galvis, 2013).

La inoculación con bacterias diazótrofes benéficas de raíces se debe a que estas bacterias aumentan la capacidad de absorción radical del trigo por el: *Azospirillum* y *Azotobacter*. Esto se basa en la conversión de sus exudados radicales en sustancias promotoras de crecimiento vegetal como: auxina, citocinina, etc, produciendo un incremento del 43 al 90% en porcentaje de germinación y 20% en longitud de raíces (García, Farías, Peña, y Sánchez, 2006). Esta conversión de productos de raíz es una propiedad bioquímica de las bacterias diazótrofes (Dos Reis, Urquiaga y Dobereiner, 2006), lo que explica el incremento en peso fresco y seco del trigo inoculado hasta en un 50%.

#### ***2.9.4.3. Control biológico de patógenos***

Las bacterias diazotróficas pueden actuar por competencia de nutrientes, minerales y espacio, pero en muchos de los casos puede presentar resistencia sistémica de la planta, sin embargo el mecanismo más frecuente de estos tipos de microorganismos se parte de la síntesis de metabolitos que inhiben el crecimiento de los patógenos o los puede destruir si existe la presencia de ellos, de esta forma Clavijo et al. (2010) los llama antibiosis que incluyen antibióticos y sideróforos que se encuentran en las enzimas líticas (quitinasa, lipasas y celulosas).

Se afirma que los sideróforos son compuestos de bajo peso molecular secretados por los microorganismos, se dice que su producción se ha asociado con diversas bacterias de vida libre, en especial del grupo de *Pseudomonas*, en donde se ha observado un incremento en el rendimiento de cebada, maíz y trigo (Correndo y García, 2016). Los mecanismos que explica este aumento en rendimiento son la pioverdina, (sideróforo fluorescente) que es producido como condiciones de deficiencia de hierro o en otros metales en condiciones de pH bajo, o como agente inhibidor de varios hongos fitopatógenos (Aguilar, 2015).

### **2.10 Marco legal**

Este estudio está vinculado a leyes que protegen la naturaleza y le otorgan derechos para asegurar su preservación tal como lo estipula la Constitución de la República del Ecuador del 2008. Capítulo II, Sección Segunda: Ambiente Sano Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Así mismo se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

En el Capítulo VII, Sección Séptima. Derechos de la Naturaleza Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia, el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, de acuerdo con el aporte de la Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador (2008).

De igual forma la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017) menciona en el Plan Nacional de Desarrollo (2017-2021) vigente, en el Eje 1: Derechos para todos durante toda la vida, Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, apoyará el fomento de una agricultura sustentable que integre los distintos sistemas productivos y respete las áreas bajo sistemas de protección, para garantizar la soberanía alimentaria con base en buenas prácticas y principios agroecológicos, basados en la premisa de no agotar los recursos naturales productivos (suelo, agua, y sus entornos).

El Texto Unificado Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), publicado el 16 de diciembre de 2002 constituye un texto reglamentario referente a la normativa ecuatoriana vigente en la Ley de Gestión Ambiental y con énfasis en la ley de prevención y control de la contaminación del ambiente. Contiene siete anexos de los cuales seis se refieren a las normas de calidad ambiental para los diferentes recursos (agua, aire y suelo). Para la presente investigación se ha tomado en cuenta la siguiente norma. Anexo 2: Norma de calidad ambiental del recuso suelos y criterios de remediación para suelos contaminados.

De las actividades que degradan la calidad del suelo los productores agrícolas, están en la obligación de utilizar técnicas que no degraden la calidad del suelo agrícola, así como

también deberán implementar procedimientos técnicos respecto al uso racional de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, este tipo de productos deberán ser manejados mediante buenas prácticas y métodos establecidos en las Normas Técnicas y Reglamentos aplicables y vigentes en el país, de acuerdo al aporte del Libro Vi Tulsma (2015).

De igual forma el plan toda una vida (2017-2021), en la Sección séptima Art. 304.- la política comercial se tiene como objetivos desarrollar, fortalecer y dinamizar los mercados internos a partir del objetivo estratégico establecido en el Plan Nacional de Desarrollar en la cual a través del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) se pueda fortalecer el aparato productivo y la producción nacionales, de la misma forma, impulsar el desarrollo de las economías de escala y del comercio justo evitar las prácticas monopólicas y oligopólicas, particularmente en el sector privado, afectando el funcionamiento de los mercados.

## CAPÍTULO III

### MARCO METEOLÓGICO

La investigación se realizó en la Granja Experimental “La Pradera”, propiedad de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la parroquia de San José de Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura a una altitud de 2350 msnm, con coordenadas UTM: (X; 811224) y (Y;10039725) Figura 2.

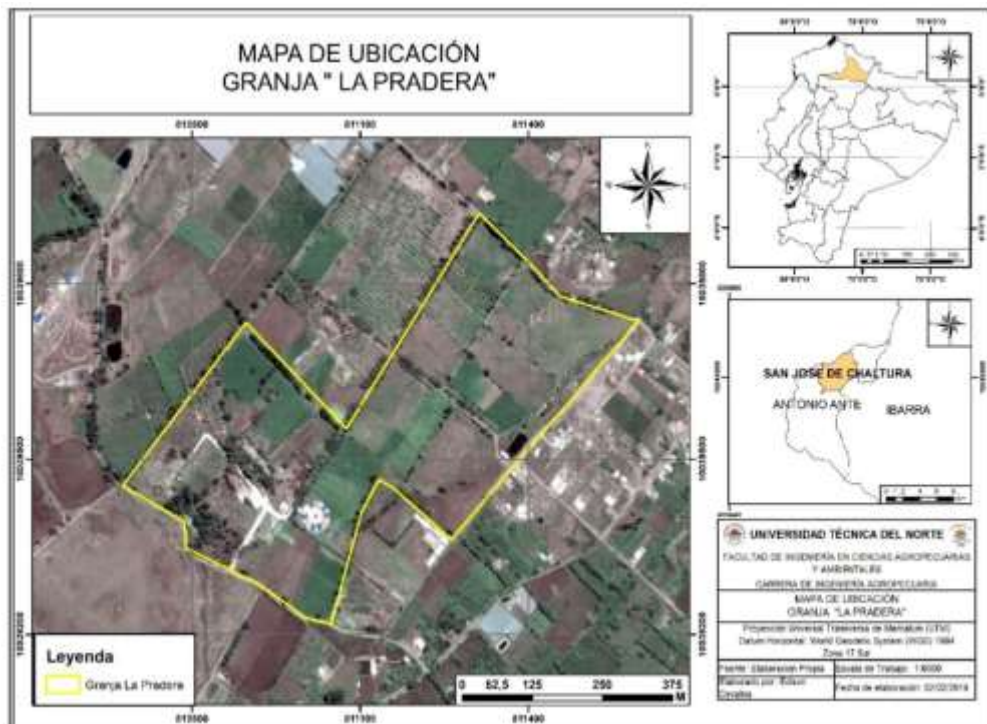


Figura 2. Mapa de ubicación del ensayo del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.).

#### 1.6 3.2 Condiciones climáticas

Las condiciones edafoclimáticas fueron tomadas en la parroquia de Chaltura- cantón Antonio Ante, de esta forma se ilustra en la Tabla 4.

Tabla 4

#### Condiciones ambientales del sitio del experimento

Condiciones meteorológicas	
Precipitación anual	522 mm
Temperatura media anual	15.4 °C
Humedad relativa	70%

## **FASE 1: en laboratorio y vivero del experimento establecido**

En esta fase fue considerada de vivero, se determinó la mejor concentración de las bacterias promotoras del crecimiento que promuevan un mayor crecimiento de las plantas de trigo.

### **3.3 Materiales y Métodos - fase I**

#### **3.3.1 Materiales**

- Bandeja plásticas para semillero
- Mesas de 1m × 1m.
- Regla metálica
- Llovedera artesanal plástica
- Plástico transparente

#### **3.3.2 Insumos**

- Roca fosfórica
- Semilla de trigo, var. INIAP-IMBABURA 2014
- Bacterias diazótrofes
- Sustrato

#### **3.3.3 Herramientas manuales**

- Rastrillo
- Martillo
- Bomba de fumigar
- Flexómetro

### **3.4 Factores en Estudio**

Se inocularon 1ml de Bacterias Diazótrofes por cada 1kg de semilla, de esta manera se utilizó 5 ml de agua como diluyente para las 3 dosis de la investigación, lo cual se aplicaron a la semilla y finalmente cada 15 días hasta que se terminó la fase I (vivero).

Dosis (D)

- D1:  $2 \times 10^9$  /ml.
- D2:  $2 \times 10^8$  /ml

- D3:  $2 \times 10^7$  /ml

Tabla 5

*Descripción de las dosis y tratamientos en estudio*

Tratamiento	Código	Descripción
T1	AD1	$2 \times 10^9$ UFC/ ml de Bacterias Diazótrofas
T2	AD2	$2 \times 10^8$ UFC/ml de Bacterias Diazótrofas
T3	AD3	$2 \times 10^7$ UFC/ml de Bacterias Diazótrofas
T4	SN	Sin fertilización química ni biológica

### 3.6 Diseño experimental fase 1

El diseño de semillero fue completamente aleatorizado (DCA), con 4 tratamientos diferentes en bandejas de  $45 \times 35$  cm, como se observa en la Figura 3.

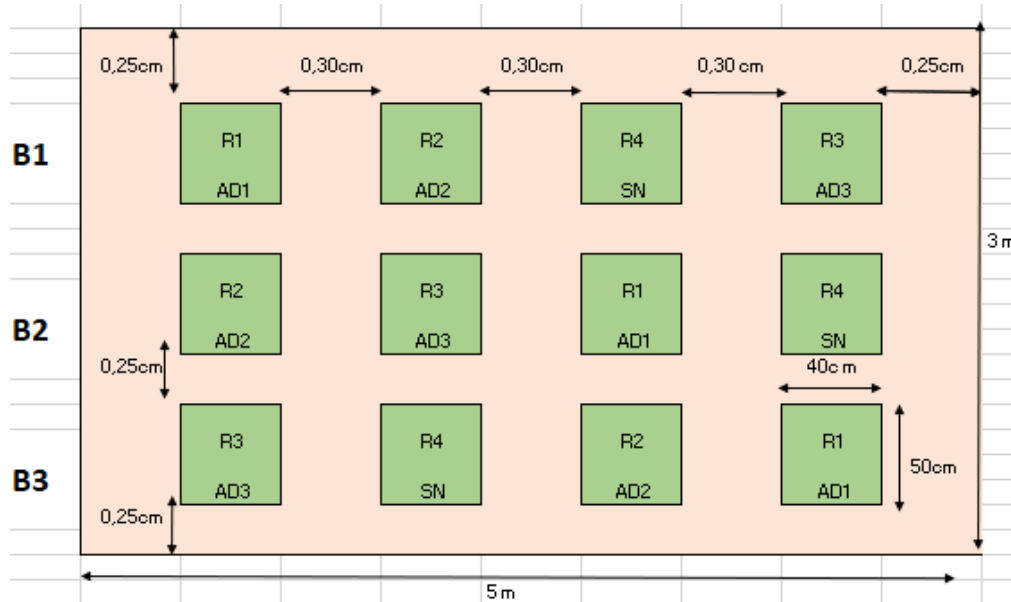


Figura 3. Distribución de ensayo fase I.

### 3.7 Características del experimento fase I

Tabla 6

*Peculiaridad del ensayo fase I*

Descripción del ensayo	Cantidades y unidad de medida
Número de unidades experimental	12
Tratamientos	4
Repeticiones	3
Largo de bandeja	40 cm
Ancho de bandeja	30 cm
Distancia entre bandejas	30 cm
Cantidad de semilla/bandeja	2.1 g
Total, de semilla	31.5 g
Área total	5.7 m <sup>2</sup>

Los semilleros estuvieron distribuidos en un diseño completamente aleatorio (DCA), con 4 tratamientos en bandejas de 45 × 35 cm, tomando en cuenta que la distribución de las unidades experimentales fue de 30 cm de separación, y a su vez un espacio total de 5.7 m<sup>2</sup>, que fue el total de espacio a utilizar en los bloques, Tabla 7.

### 3.8 Variables

Según Guerrero, (2013) menciona que en la germinación de trigo se obtiene un 85% de germinación en la producción total, por esta razón mediante el estudio de siembra se reducirá un 15% para tomar en cuenta el porcentaje mínimo de plantas que se perderán en la siembra. Para la determinación de las variables, se empleará la Escala de Zadoks de la fenología del trigo como se observa en la tabla 7, (FAO, 2008).

Tabla 7

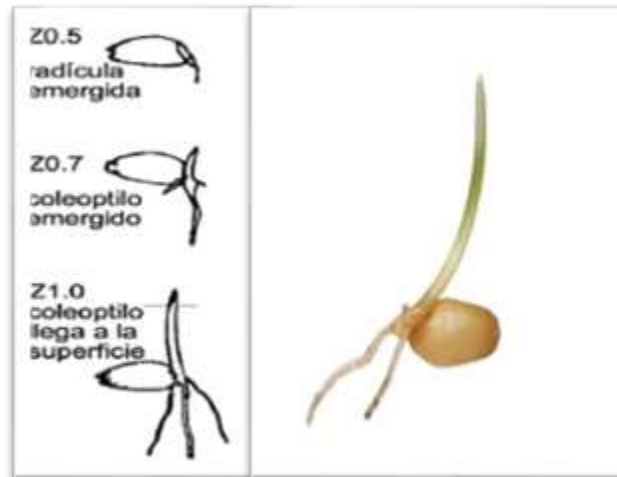
*Fases del crecimiento de trigo en la escala Zadoks*

Etapas		Fenología de Trigo según Zadoks		
		Períodos	Descripción	Días
		(Z0.0)		
Vegetativa		Z0.0	Germinación	10
		Z1.0	Producción de Hojas TP	17
		Z2.0	Producción de Macollos	35
		Z3.0	Encañado	65
		Z4.0	Vaina Engrosada	75
Reproductiva		Z5.0	Espigado	85
		Z6.0	Antesis	95
		Z7.0	Estado lechoso del grano	120
Maduración		Z8.0	Estado pastoso	140
		Z9.0	Madurez	170

**Fuente:** FAO (2008)

Las variables días a la germinación y porcentaje de germinación del trigo, serán evaluadas en la fase vegetativa, cuando inicia la elongación del coleóptilo según la escala de Zadoks así lo menciona FAO (2008), como se observa en la Figura 4.





Fuente: (FAO, 2008)

Figura 4. Elongación del coleóptilo en la germinación del trigo.

### 3.8.1 Días a la germinación

Esta variable se evaluó los días 5, 7 y 10 después de la siembra, de acuerdo con la etapa fenológica de germinación de Zadoks (Z0.5, Z0.7 y Z1.0), Figura 5.



Figura 5. Emergencia del coleóptilo en la semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.).

### 3.8.2 Porcentaje de germinación

Con respecto al porcentaje de germinación se midió a los 10 días después de la siembra de acuerdo con la escala de Zadoks, a partir de Z1.0 en la Figura 6. Empleando una regla de tres simple, de esta forma contabilizó el total de semillas germinadas, el cual se multiplicó por 100% y el resultado se lo dividió para el total de semillas sembradas

inicialmente, obteniéndose de esa forma el porcentaje de germinación. Esto se realizó en cada unidad experimental.



Figura 6. Cuento final de % de germinación de trigo (*Triticum aestivum* L.).

### 3.8.3 Índice de germinación

En el estudio el índice de velocidad de germinación del cultivo de trigo, se evaluó a los 5,7 y 10 días, hasta que el 70% de las semillas estuvieron emergidas en cada unidad experimental. La cual se determinó empleando la fórmula descrita por Ranal y Santana (2006): de  $IVG = \sum [n_i / (\sum t_i)]$

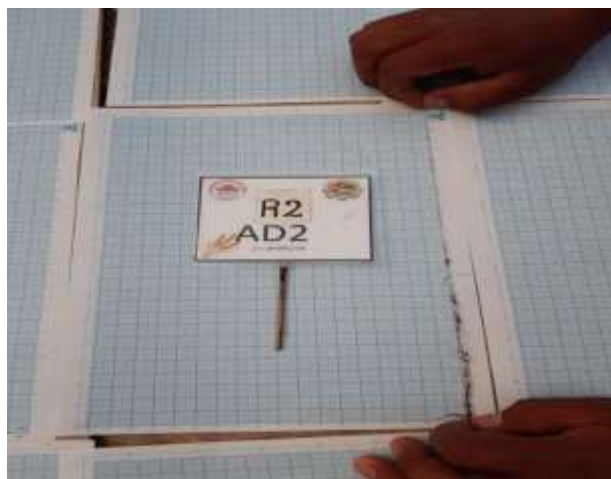
En dónde:

$n_i$ : es el número de semillas germinadas en el intervalo de tiempo  $t_i$ .

$\sum t_i$ : es el período en días desde la siembra hasta el día final de la experimentación.

### 3.8.4 Longitud de raíz

En esta variable, mediante un papel milimetrado y un plástico transparente como representa la Figura 7, se escindió en la base del tallo 10 plantas al azar de sistema radicular, para luego medir con un flexómetro o regla, esta variable fue medida según la fenología de Zadoks (Z2.O) a los 35 días de finalizar la primera fase I.



*Figura 7.* Fase I (vivero), medición de raíz por cada unidad experimental.

### **3.8.5 Peso de raíz**

A través de una balanza de precisión para desprender únicamente la raíz en 10 plantas al azar de cada tratamiento, Figura 8. La medición se realizó según la escala de zadoks (Z2.0) a los 35 días de finalizar la prueba de germinación, el cual de cada planta se limpió todo su sistema radicular mediante un atomizador para luego cortar en la base del tallo.



*Figura 8.* Repetición del testigo, valor más bajo de los pesos obtenidos.

### **3.9 Manejo del experimento fase 1**

Esta fase se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero. Se evaluará 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. Los Bloques de los semilleros serán distribuidos con un espacio

total de 57 m<sup>2</sup>, de esta forma la fertilización se realizó en base al requerimiento de nitrógeno del cultivo de trigo (80 kg ha<sup>-1</sup>) por ciclo y tomando en cuenta los resultados del análisis de sustrato previo al establecimiento del estudio.

### 3.9.1 Determinación de la viabilidad de las células bacterianas

Tres días previos a la aplicación de los tratamientos tanto a la semilla como luego de la siembra, se determinó la viabilidad de las células bacterianas a través del conteo de las unidades formadoras de colonia (UFC) con el fin de ajustar la concentración de bacterias de acuerdo con la dosis establecida por los tratamientos, Figura 9. Para esto, se tomó 1 ml de la suspensión de la Bacteria Diazótrofa y se realizó diluciones seriadas de hasta 1/1000, de la dilución se despojó una alícuota y se contabilizó el número de células en el microscopio gracias a la cámara Neubauer (Moreno, 2001).



*Figura 9.* Activación de Bacterias Diazótrofas y conteo de células bacterianas.

Luego se creó la concentración de la dilución hasta obtener 300 células por mililitro de suspensión, esto gracias a la fórmula:  $C_1V_1 = C_2V_2$ , donde  $C_1$  representó la concentración inicial,  $V_1$  el volumen inicial, mientras que  $C_2$  simbolizó la concentración final y  $V_2$  el volumen final, Figura 10.



*Figura 10.* Diluciones cereadas para obtener las concentraciones de Bacterias Diazótrofas.

Luego se despojó 0,1 ml de la dilución y se colocó en una caja Petri con medio de cultivo PDA, la suspensión se diseminó en toda la superficie del medio con la ayuda de la espátula Drigalski (Pérez, Ramírez y Francos, 2014)

### **3.9.2 Proceso de desinfección en la siembra**

Se hace mención que la solución Cruiser, para el problema del gorgojo argentino (*Listronotus bonariensis*), gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), y pulgones utilizamos una dosis de 2 g L<sup>-1</sup> de ingrediente activo de profenos o carbosulfan en 10 kg de semilla de trigo (Torres, Gallegos y Castillo, 2013).

#### **3.9.2.1 Siembra.**

La siembra de este ensayo se presentó en vasos de plástico, de esta forma las repeticiones fueron por separado y se inocularon las 3 diferentes concentraciones de la bacteria diazótrofas en las semillas de cada tratamiento (Figura 11).



*Figura 11.* Inoculación de 3 diferentes concentraciones de Bacterias Diazótrofas.

De esta manera las concentraciones fueron representadas como: ( $2 \times 10^9$  ml. diluida en 500 ml de  $H_2O$ ), ( $2 \times 10^8$  ml diluida en 500 ml de  $H_2O$ ) y ( $2 \times 10^7$  ml diluida en 500 ml de  $H_2O$ ), en la Figura 12 podemos apreciar las aplicaciones de la bacteria mencionada.



*Figura 12.* Siembra de semillas de Trigo (*Triticum aestivum* L.), inoculadas de Bacterias Diazótrofas.

En tierras muy sueltas, donde las semillas están expuestas a la luz solar pueden estar expuestas a la desecación, de esta manera en siembras tardías, se formalizó la siembra a una profundidad de 2 a 3 cm con el fin de evaluar los días a la germinación y % de germinación.

### **3.9.3 Aplicación de tratamientos en estudio**

En semillero se manejó 3 diferentes concentraciones, la cual primero se efectuó un análisis de UFC/ml y luego se inocularon en las 15 unidades experimentales bajo invernadero hasta la emergencia, en la cual se obtuvo la mejor dosis y finalmente se lo llevo a campo (Figura 13).



*Figura 13.* Diseño real de Fase I en vivero.

## **FASE 2: en campo del experimento establecido**

Una vez concluida la fase de vivero y habiendo seleccionado las mejores dosis de bacteria, basándose en los resultados obtenidos de las variables que se midió. Se procedió a establecer dichos tratamientos en campo, hasta llegar a la madurez fisiológica del cultivo.

### **3.10 Materiales y Métodos- fase II**

#### **3.10.1 Materiales**

- Estacas (50 cm)
- Libreta de campo
- Rótulos
- Rollo de piola
- Regla metálica (50 cm)
- Motor de riego
- Aspersores
- Manguera

#### **3.10.2 Materiales de laboratorio**

- Cajas Pétri
- Medio de cultivo PDA
- Cámara Neubauer

### **3.10.3 Herramientas manuales**

- Azadón
- Rastrillo
- Pala recta
- Martillo
- Bomba de fumigar
- Flexómetro

### **3.10.4 Insumos**

- Fertilizantes químicos (Urea 46%)
- Fosfato mono potásico
- Semillas de trigo, var. Iniap-Altar 82
- Bacterias diazótrofas

### **3.11 Factores en estudio fase II**

En la fase de campo se utilizó la combinación de la mejor dosis de la bacteria obtenida en la fase 1 con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado (N) químico (Tabla 8).

Bacteria Diazótrofa (BD)

- Bacteria Diazótrofa + N (25%)
- Bacteria Diazótrofa + N (50%)
- Bacteria Diazótrofa + N (75%)
- N (100%)
- BD (100%)



Tabla 8

*Descripción de los tratamientos en estudio de fase II, en el cultivo de trigo*

Tratamiento	Código	Descripción
T1	BD25%	Bacteria Diazótrofa + N (25%)
T2	BD50%	Bacteria Diazótrofa + N (50%)
T3	BD75%	Bacteria Diazótrofa + N (75%)
T4	N100%	N (100%)
T5	BD100%	Bacteria Diazótrofa

### 3.13 Características del Experimento Fase II

Tabla 9

*Características del experimento fase II en el cultivo de trigo*

Parámetros	Cantidades y unidad de medida
Número de unidades experimental	15
Tratamientos	5
Bloques	3
Largo de parcela	5 m
Ancho de parcela	2 m
Distancia entre hileras o surcos	20 cm
Cantidad de semilla/parcela	105 g
Hileras/parcela	10
Parcela neta	7.20 m <sup>2</sup>
Total, de semilla	945 g
Distancia entre parcelas	1m
Área total	390 m <sup>2</sup>

### 3.14 Análisis de varianza

Tabla 10

Análisis de varianza

Fuente de variación		Gl-1
Bloques (B)	(3-1)	2
Dosis (D)	(5-1)	4
Error Experimental		8
Total	n-1	14

### 3.15 Diseño experimental campo fase II

Se empleó un Diseño de Bloques completos al Azar, con 5 tratamientos y tres bloques. El análisis se efectuó con la prueba de significancia Fisher al 5%, como se observa en la (Figura 14).

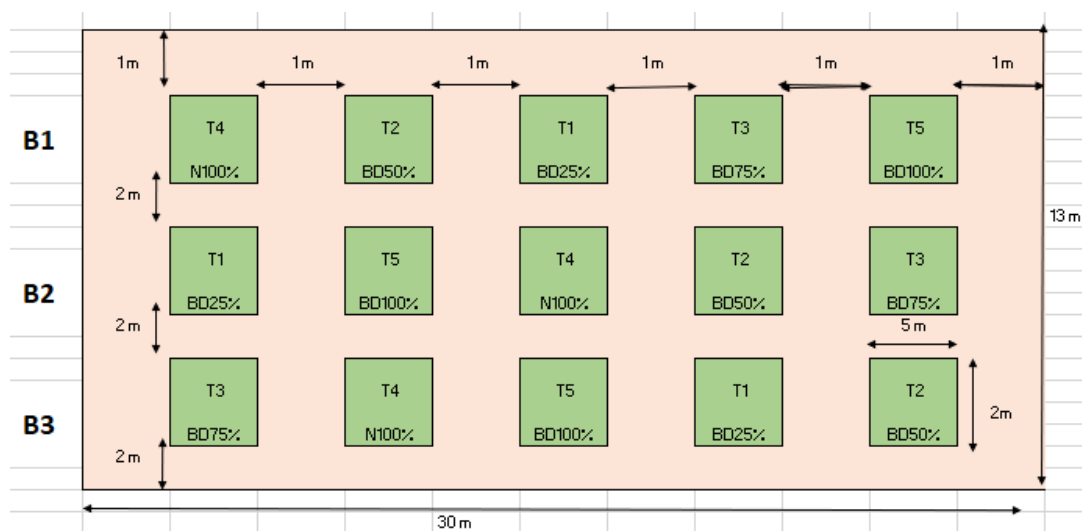


Figura 14. Distribución de Ensayo fase II del cultivo de trigo.

### 3.16 Variables fase II

### 3.16.1 Número promedio de macollos

Se evaluó la etapa fenológica de producción macollos (Z2.3) de la escala de Zadoks, a los 35 días después de la siembra, cuando las plantas presentaron cuatro hojas, se contabilizó el número de macollas a 10 plantas al azar de la parcela neta, luego se calculó el promedio de macollos por parcela neta de cada unidad experimental (Figura 15).



*Figura 15.* Conteo de macollos en cada unidad experimental.

### 3.16.2 Número de espigas por m<sup>2</sup>

Esta variable se evaluó en la fase reproductiva del cultivo de trigo en la etapa (Z5.0) de espigado en la escala de Zadoks a los 85 días después de la siembra. Esto se realizó en la parcela neta de cada unidad experimental (Figura 16).



*Figura 16.* Herramienta de metro cuadrado.

Se contabilizó el número de espigas presentes en un metro cuadrado al azar de la parcela neta y mediante el empleo de una regla de tres simple, se determinaron el número de

espigas del área total de cada unidad experimental, como se puede apreciar en la Figura 17.



Figura 17. Formación de espiga de trigo etapa Z5-Zadoks.

### 3.16.3 Porcentaje de materia seca

Se extrajó 20 plantas al azar, con la ayuda de una tijera en cascajos de unos 5 cm aproximadamente de largo, se evaluaron los 65 días después de la siembra de la etapa fenológica (Z3.0) de encañado del trigo en Zadoks, luego se completó 100 g de muestra que fueron llevadas a la granja la “Pradera” de la Universidad Técnica del Norte para el proceso de secado del material vegetal.



Figura 18. Pesaje total de materia seca.

Para el secado las muestras fueron colocadas en bandejas de aluminio y se colocó en la estufa a una temperatura de 105 °C por 18 h, luego se procedió a pesar con una balanza de precisión para determinar la materia seca (Figura 18).

#### 3.16.4 Contenido foliar N

Se extrajeron 20 plantas de la parcela neta de la unidad experimental, se cortó el forraje dentro del cuadrante de forma manual y con ayuda de una hoz a una altura de 10 cm del cuello de la raíz a los 65 después de la siembra en la etapa (Z3.0) del encañado del trigo, Figura 19.



Figura 19. Corte de hojas para el previo análisis foliar de Nitrógeno.

En la Figura 20, se detalla la muestra de 100g de hojas de trigo se colocaron en una funda de papel perforada, las cuales fueron enviadas al laboratorio “Agrar Project”, para el respectivo análisis químico.



Figura 20. Muestreo de hojas que se envió a la empresa Agrar Projekt.

La interpretación de los resultados del contenido adecuado de macro y micronutrientes a nivel foliar, en el cultivo de trigo se realizó en base a lo descrito en la Tabla 11.

Tabla 11

*Requerimiento óptimos de macro y micronutrientes a nivel foliar del cultivo de trigo*

Nutriente	trigo (verano)	trigo (invierno)
Nitrógeno (N)%	2 a 4	1.75 a 3
Fosforo (P)%	0.20 a 0.50	0.20 a 0.50
Potasio (K)%	1.50 a 3	1.50 a 3
Calcio (Ca)%	0.20 a 0.50	0.20 a 1
Magnesio (Mg)%	0.15 a 0.50	0.15 a 1
Azufre(S)%	0.25 a 0.50	/
Hierro (Fe)ppm	25 a 100	10 a 300
Manganeso (Mn)ppm	25 a 100	16 a 200
Boro (B)ppm	6 a 10	/
Cobre (Cu)ppm	5 a 25	5 a 50
Zinc (Zn)ppm	15 a 70	20 a 70
Molibdeno (Mo) ppm	0.09 a 0.18	/

(West Analítica y Servicios, 2018)

### **3.16.5 Altura de planta**

En esta variable se evaluó la fase vegetativa y reproductiva de la etapa fenológica (Z1.0) en el llenado de hojas en los 17 días después de la siembra, luego a los 65 días en la etapa (Z3.0) del encañado y finalmente a los 85 días en la etapa (Z5.0) del espigado del trigo.



*Figura 21.* Medición de altura a los 17 días después de la siembra.

Se midieron en 10 plantas al azar de la parcela neta, la altura se tomó desde la base del tallo hasta el ápice vegetativo terminal, con un flexómetro y se expresaron en centímetros, como se puede observar en la Figura 21.

### **3.16.6 Rendimiento**

Esta variable se evaluó al terminar la etapa de madurez (Z9.0) del cultivo de trigo a los 170 días después de la siembra, Figura 22.



*Figura 22.* Recolección del material vegetal trigo, fase final.

De la cual se recolectó el material de la parcela neta en cada unidad experimental y de esta manera expresar el rendimiento en kilogramos por hectárea, Figura 23.



*Figura 23. Cosecha del trigo en campo.*

De esta manera se utilizó la siguiente ecuación matemática:

$$Rc = Pc * \frac{10000}{Anc} * \frac{100-HC}{100-HE}$$

#### **Ecuación 1:** Cálculo de Rendimiento

Dónde:

- **Rc**= Rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>
- **Pc**= Peso de campo o peso de rendimiento fresco en kg
- **Anc**= Área neta cosechada en m<sup>2</sup>
- **HC**=Humedad de cosecha
- **HE**= Humedad estándar

El principal factor que debe controlarse en el almacenamiento es el porcentaje de humedad de grano, el cual debe estar entre 11 y 14% para evitar el crecimiento de hongos y la germinación del grano; por este motivo se debe efectuar el secado de este (Serna-Saldivar, 2009). El secado del grano se realiza de diferentes formas que pueden ser simples o sofisticadas, tales como exposición al sol o uso de equipos de cierta complejidad (Hernández, 2017).

**HE**= Humedad estándar

Humedad estándar se determina en muchos métodos, entre ellos el contenido de humedad de los cultivos, variando en su complicación de acuerdo con los tipos de agua y a menudo hay una correlación pobre entre los resultados obtenidos (Serna-Saldivar, 2009). Sin



embargo, la generalidad de los métodos da resultados reproducibles, si las instrucciones empíricas se siguen con fidelidad y pueden ser satisfactorios para uso práctico.

### **3.16.6 Análisis financiero**

Los costos de producción se realizaron al finalizar el ciclo de producción del cultivo de trigo mediante la tabla de costos de producción, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 14. Se realizó con base a lo invertido en la investigación el mismo que fue de 10m<sup>2</sup>/parcela con un total de 150 m<sup>2</sup> de área terreno. Los cálculos obtenidos por parcela se proyectaron a 1 ha (10000 m<sup>2</sup>), tomando en cuenta los costos directos e indirectos que implican en la producción de trigo.

Es importante resaltar, que también se consideraron los costos del sistema de riego, tipo de fertilización (bacterias diazótroficas en combinación con nitrógeno) y el tipo de labranza (surcos) empleado en la investigación, los cuales no son utilizados comúnmente por el agricultor, pero es importante cuantificarlo para obtener un costo real (Anexos 3 y 4). Así también, los costos de instrumentos como bomba de mochila, herramientas e implementos del sistema de riego, se encuentra ya aplicados la depreciación respectiva esto de acuerdo a lo establecido para cada material.

Por otro lado, en esta investigación se utilizó un solo indicador financiero, seguidamente se describen las ecuaciones matemáticas empleadas en la relación beneficio costo (B/C):

#### **3.16.6.1 Relación Costo/ Beneficio (C/B)**

Relación beneficio/costo se calculó por cada tratamiento en estudio aplicando la siguiente ecuación matemática (Duque, 2017):

$$R = IT/CT$$

En donde:

RB/C = Relación Beneficio /Costo

IT = Ingresos Totales

CT = Costos Totales

### **3.17 Manejo del experimento fase II**

### 3.17.1 Preparación del área en estudio

El presente ensayo se llevó a cabo en Chaltura, Granja Experimental la Pradera, para lo cual, consistió en un pase de arado y dos pases de rastra con materia orgánica comercial (ecuabonal) en el terreno un mes antes de la siembra, además se realizará una limpieza de malezas y delimitaciones del ensayo, para la introducción de la bacteria diazótrofa con la mejor dosis en campo.



*Figura 24.* Preparación del suelo y delimitación de la parcela del suelo.

### 3.17.2 Acondicionamiento de suelo

Los suelos en la Granja La Pradera se caracterizaron por ser suelos Francos y suelos que frecuentan compactarse con facilidad.



*Figura 25.* Incorporación de materia orgánica en los tratamientos en estudio.

Para ello se removió la materia orgánica como se la puede apreciar en la figura 25, todo el terreno un mes antes previo a la siembra y se dejó en reposo, con el objetivo de proporcionar los nutrientes requeridos por el trigo y regular la acidez que puede haber en el terreno, para ello se realizó su respectivo análisis de suelo, en los laboratorios de “Agrar Projekt”.

### 3.17.3 Siembra

Previo a la siembra se determinó la viabilidad de las bacterias a través de las UFC para ajustar la dosis del tratamiento en caso de ser necesario, además dependiendo de la mejor dosis que se obtuvo en la fase I, se inoculó la semilla para sacar a campo y de esta manera, se evaluó con la fertilización química como protocolo del producto comercial que se utilizó 1 ml por cada kg de semilla diluido en 9ml de H<sub>2</sub>O, haciendo una relación de 9:1 para sus respectivas aplicaciones, Figura 26.



*Figura 26.* Inoculación de Bacteria Diazótrofa para llevarla a campo.

Por otra parte, la variedad de trigo que se utilizó es INIAP-IMBABURA 2014 certificada, en la cual se adquirió en la Estación Experimental Santa Catalina, puesto que esta variedad cumple condiciones climáticas de la Parroquia “Chaltura” ciudad Imbabura.

### 3.17.4 Aplicación de tratamientos

De acuerdo con la mejor dosis que se determinó en la fase I del semillero, se aplicó a la fase de campo. Para esto, la aplicación de la bacteria fue colocada en una bomba de

mochila y aplicada a razón de 11 ml de bacteria por metro lineal de la hilera de trigo y con la misma secuencia se aplicó en todas las unidades experimentales, Figura 27.



Figura 27. Herramientas y forma de aplicación de la Bacteria Diazótrofa.

La aplicación de los tratamientos se realizó cada 15 días y tomando en cuenta la escala de Zadoks.

### 3.17.5 Fertilización

Como menciona García, Fontanetto y Vivas (2005), la dosis de fertilización debe ser basadas en análisis de suelo. Por otro lado, la aplicación edáfica se realizó en los primeros 20 días después de la siembra, de esta forma, pueda aprovechar los nutrientes nitrogenados en pleno crecimiento vegetativo, como se observa en la Figura 28.



Figura 28. Fertilización Nitrogenada en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.).

Para los requerimientos nitrogenados se tomó en cuenta las recomendaciones de los análisis de suelo realizados en la empresa Agrar Projekt. Sin embargo, si no se dispone de éste, la recomendación media por hectárea en trigo se aprecia en la Tabla 12.

Tabla 12

*Requerimientos nutricionales del cultivo de trigo (Triticum aestivum L)*

Nutriente	Kg ha <sup>-1</sup>	g ha <sup>-1</sup>
Macronutrientes		
Nitrógeno	80	
Fosforo	60 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	
Potasio	40 (K <sub>2</sub> O)	
Calcio	9	
Magnesio	9	
Azufre	20	
Micronutrientes		
Boro		75
Cobre		30
Hierro		411
Manganeso		210
Zinc		156

**Fuente:** Autor

### 3.17.6 Controles fitosanitarios

Se realizaron monitoreos semanales para observar la presencia de plagas como áfidos o pulgones (*Rhopalosipum padi*) y enfermedades (Roya amarilla, roya de la hoja, Fusarium, Carbón) en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.), de esta manera se hizo las respectivas aplicaciones químicas, biológicas y culturales para su control en todo el ciclo del cultivo e investigación.

### 3.17.7 Manejo plagas y enfermedades

El manejo de las plagas y enfermedades se efectuaron de la siguiente manera:

- Monitoreos de insectos
- Desinfección en seco con una sal de cobre en polvo en la semilla a sembrar y semilla recolectada.
- Para la prevención del oídio, se empleó el azufre, teniendo la precaución de cubrir completamente la planta para asegurar una protección eficaz.
- Utilización de trampas amarillas, rojas o verdes en la base del tallo o en la parte superior de la planta.
- Limpieza de malezas y tejidos de cultivos muertos se realizará a mano.

- Desinfección del suelo con productos biológicos se realizará antes del ensayo.
- Desinfección de las estructuras y útiles de trabajo con hipoclorito de sodio al 5% durante 30 segundos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar la evaluación de la eficacia de las bacterias diazótrofes en combinación con diferentes dosis de fertilizante químico nitrogenado en el rendimiento del cultivo de trigo en las variables de la fase 1, mismas que son días a la germinación, longitud y peso de raíz; en la fase 2 se desarrolló la fase de campo: altura de planta, macollamiento, materia seca, rendimiento y análisis económicos se obtuvieron los resultados descritos a continuación.

#### 4.1 Fase 1. Considerada como Laboratorio y Vivero

##### 4.1.1 Días a la germinación.

El análisis de varianza indica que no existió interacción entre los días a la germinación y dosis de las bacterias diazótrofes, ( $F=0.77$ ;  $gl= 18,54$ ;  $P=0.7194$ ). Sin embargo, se evidenció un efecto de las dosis ( $F=27.03$ ;  $gl= 3,54$ ;  $P=<0.0001$ ) y los días a la germinación ( $F=90.99$ ;  $gl= 6,54$ ;  $P=<0.0001$ ) de forma independiente (Tabla 15).

Tabla 13

*ADEVA para días de germinación del trigo (Triticum aestivum l.)*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
Días	6	54	90.99	<0.0001
Dosis	3	54	27.03	<0.0001
Días: dosis	18	54	0.77	0.7194

Mediante la incorporación de bacterias diazótrofes, se observó que el proceso de germinación del trigo inició en el día 4 después de la siembra con un 40%, y para el día 5 alcanzo el 80%, es decir en 24 horas la germinación se duplicó. En tanto que, a partir del día 6 hasta el día 10, la germinación en los tratamientos en estudio alcanzó el 90%, el

proceso de germinación en trigo se caracteriza porque las pequeñas plántulas se desasen de la testa y desarrollan sus primeras hojas (Figura 29).

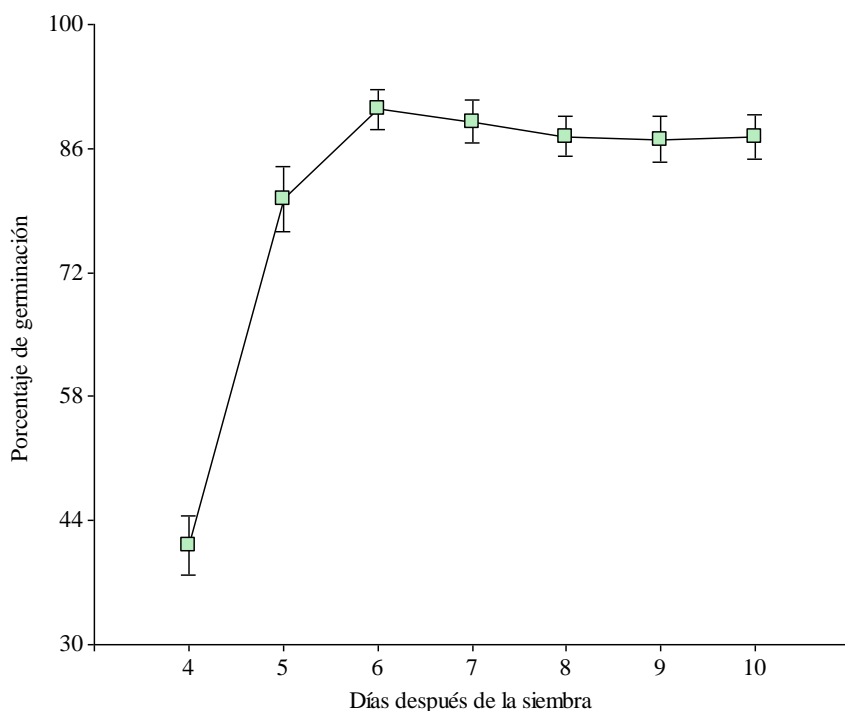


Figura 29. Días de germinación después de la siembra de trigo (*Triticum Aestivum* L.)

Es importante mencionar que a partir del sexto día después de la siembra todas las semillas germinaron, los microorganismos activados promovieron una compatibilidad con la semilla de trigo para germinar (Figura 29).

Los resultados obtenidos para los días de germinación de la semilla de trigo en la presente investigación fueron similares con el trabajo desarrollado por Gonzales (2005), quien utilizando el mismo tipo de bacterias obtuvo una germinación del 30% y 70% para el día 4 y 5 respectivamente, completando el proceso al día 7 con el 90%. La germinación inicial del trigo obtenida fue superior en un 9% y a partir del día 6 en un 20% en el presente estudio.

De acuerdo con Schmidet (2020), utilizando la inoculación de bacterias diazótrofes en la semilla de cereales, el 40% de la germinación se observa en los días 4 y 5; y el 90% a partir del día 7 después de la siembra. En esta investigación se registraron datos similares al inocular *Azospirillum*, con un 39% y 90% de plantas germinadas al día 4 y 7, respectivamente.

Consecuentemente García, Farías, Peña y Sánchez (2006), la aceleración en la germinación se debe a los exudados que genera la semilla al aplicar la bacteria, misma que son promotores de crecimiento y además sirven de energía y alimento para la planta.

#### 4.1.2 Porcentaje de germinación

Se puede evidenciar que el porcentaje de germinación en este estudio fue superior al 70% en todas las dosis de bacterias diazótroficas empleadas en la semilla de trigo. La concentración de la dosis 2, fue la más efectiva para aplicarla en campo debido a que se obtuvo un mayor índice de plantas vivas al momento de la germinación. Se evidenció diferencias estadísticas para lo cual se formaron dos rangos, el primero lo conforma los tratamientos D1 y D2, en tanto que el segundo corresponde a D3 y D4

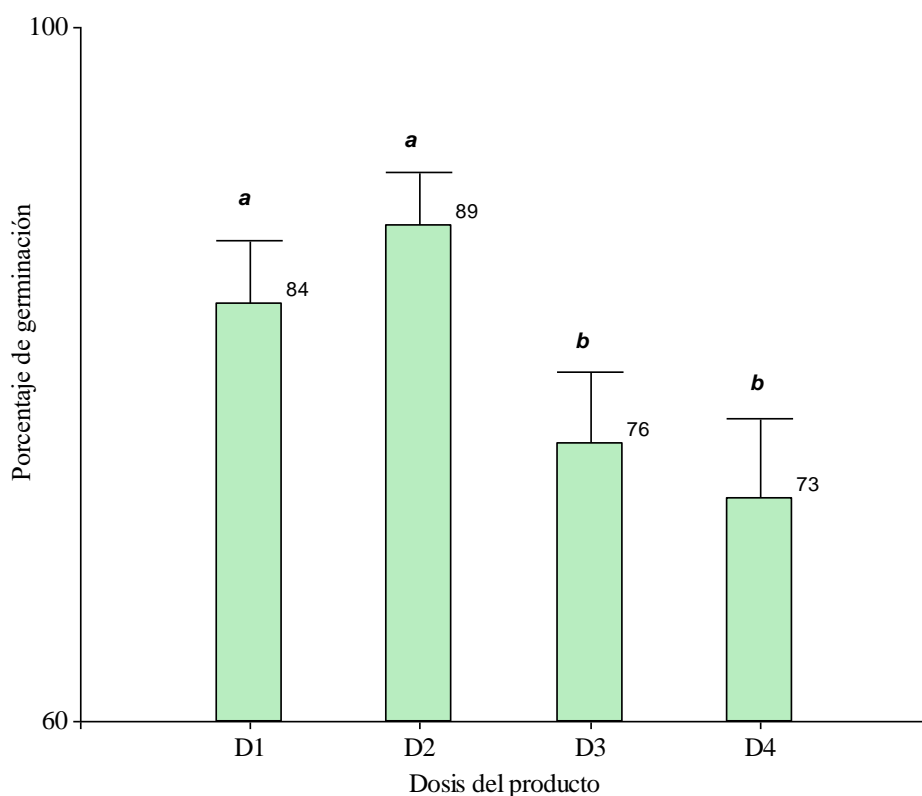


Figura 30. Porcentaje de germinación en semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.), utilizando bacterias diazótroficas.

T1:D1  $2 \times 10^9$  UFC/ ml de Bacterias Diazótroficas; T2:D2  $2 \times 10^8$  UFC/ ml de Bacterias Diazótroficas; T3:D3  $2 \times 10^7$  UFC/ ml de Bacterias Diazótroficas; T4:D4, Sin fertilización química ni biológica

En la figura 30, se observa que con la aplicación de la dosis 1 y 2 se obtuvieron un mayor porcentaje de germinación con una media de 86.32%, comparado con las dosis 3 y 4 que



fueron similares entre sí con una media de 74.44%. Es importante resaltar la superioridad de las dosis 1 y 2 respecto a las dosis 3 y 4, la cual fue de 13.76% superior.

Reyes (2011), reporta que haciendo uso de las mismas bacterias con dosis de  $2 \times 10^2$  UFC/ ml, en su investigación obtuvo germinaciones del 80%. Dichos resultados fueron similares a los del presente estudio, comparando ambos resultados, existe superioridad del 6% para las dosis 1 y 2 e inferioridad respecto a las dosis 3 y 4.

Por otro lado, Mamani (2018), al inocular semilla de quinua en una dosis de  $1.5 \times 10^8$  UFC/ml de *Azospirillum* respecto al testigo sin bacteria, se mostró un porcentaje de germinación del 93%. Estos datos fueron diferentes a los del presente estudio, con una superioridad del 7%. Sin embargo, el porcentaje de germinación y la dosis empleadas se encuentra dentro de los rangos óptimos para el cultivo de trigo.

Según Delgado (2016), los microorganismos activados en concentraciones de  $1.5 \times 10^8$  a  $2.5 \times 10^8$  UFC/ml, mejoran la compatibilidad con las semillas, permitiendo elevar el porcentaje de germinación y plantas vivas hasta en un 95%. De igual forma, Patiño (2010), afirma que al emplear *bencylaminopurine* en una concentración de  $2.5 \times 10^8$  UFC/ml, en la multiplicación de cereales in vitro obtuvo del 50% al 95% de plantas germinadas, esto debido a que el microorganismo estimula la formación y longitud de brotes, así como el número de hojas en cereales.

#### 4.1.3 Índice de germinación

Mediante el análisis de varianza se puede observar que existe diferencias estadísticas con respecto a las dosis de bacterias diazótrofes para el índice de germinación del trigo ( $F=5.73$ ;  $gl=2.6$ ;  $p= <0.0340$ ), como se puede evidenciar en la tabla 17.

Tabla 14

*ADEVA índice de germinación de la semilla de trigo (Triticum aestivum L.)*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
Intercep	1	6	1113.40	<0.0001
Dosis	2	6	5.73	<0.0340

De acuerdo a Rodríguez et al. (2014), el índice de germinación expresa tanto el porcentaje de semillas germinadas como el porcentaje de crecimiento que alcanza la radícula durante el ensayo.

Los resultados obtenidos para esta variable conforman tres rangos, donde el mejor índice de velocidad de la germinación del trigo se obtuvo con la aplicación de dosis 2 con una media del 21%, seguido de la dosis 1 que presentó una media del 20% siendo este resultado el rango b y las dosis 3 y 4 fueron similares y conforman el rango c, con una media del 17.5% siendo el menor índice de velocidad respecto al resto de dosis.

Las diferencias entre los tratamientos para los índices de velocidad obtenidos, la dosis 2 se muestra superior en un 5% a la dosis 1, mientras que la superioridad fue del 17% respecto de las dosis 3 y 4, (Figura 31).

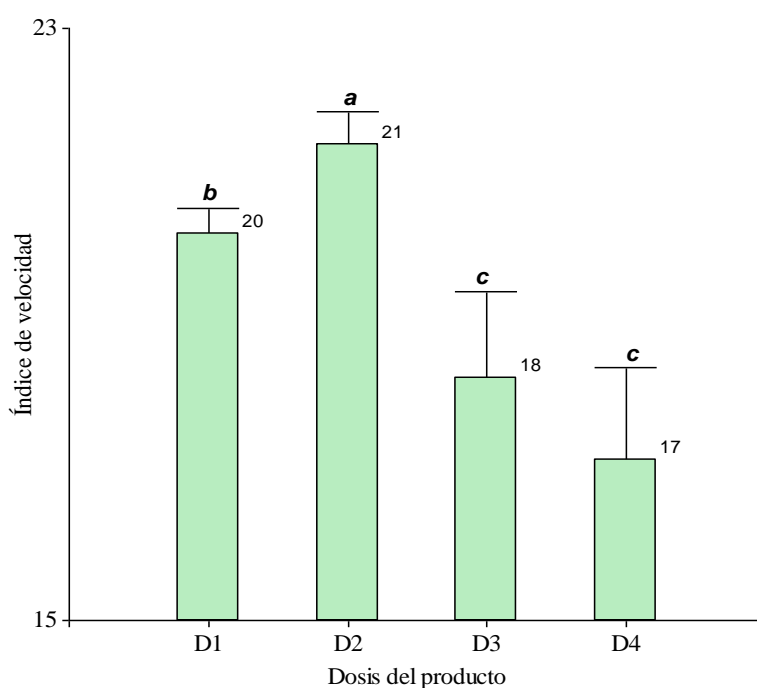


Figura 31. Índice de germinación de la semilla de trigo (*Triticum aestivum L.*).

T1:D1  $2 \times 10^9$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofas; T2:D2  $2 \times 10^8$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofas; T3:D3  $2 \times 10^7$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofas; T4:D4, Sin fertilización química ni biológica

Rodríguez (2014), menciona que los índices germinación constituyen un indicador de la interacción de los factores que promueven o inhiben la germinación, siendo el 50% la base para lo expuesto. Dentro de la presente investigación el índice fue del 21% el mayor índice comparado al resto de tratamientos. Sin embargo, el porcentaje de germinación de la semilla no se ha visto afectada, ya que la inoculación de *Azospirillum* acelero este proceso.

Al inocular  $2.5 \times 10^8$  UFC/ ml *Azospirillum* en semilla de sorgo, Rubiños (2017) obtuvo, un índice de germinación del 40%. Dichos resultados no concuerdan con lo obtenido en este estudio pese a que se empleó la misma dosis de bacteria diazótrofas, este fue superior en un 20%. Consecuentemente Torriente (2010), mencionan que dicho factor no interviene en el rendimiento del cultivo.

#### 4.4 Longitud de raíces

En el análisis de varianza se muestra que existió diferencias significativas con relación a la dosis de inoculación de *Azospirillum* en la semilla de trigo, con valores de (F=52.71; gl= 3,114; P=0.0001), siendo un efecto independiente en la longitud de raíces (Tabla 18).

Tabla 15

*Longitud de raíces de las plantas de trigo (Triticum aestivum L.)*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
Intercep	1	114	1503.12	<0.0001
Dosis	2	114	52.71	<0.0001

La mayor longitud en raíces de la planta de trigo se obtuvo con la dosis 2, con una media de 28 cm la misma que fue superior en un 25% con respecto a la dosis 1 y 3 que conforman un mismo rango, con una media de 21cm. De igual forma, a la dosis 4 en un 39 %. Así mismo, cabe resaltar que las dosis 1 y 3 presentaron una superioridad del 19 % en la longitud de raíces comparado a lo obtenido con la dosis 4, finalmente la menor longitud de raíces de trigo se presentó con la dosis 4 con una media de 17cm (Figura 32).

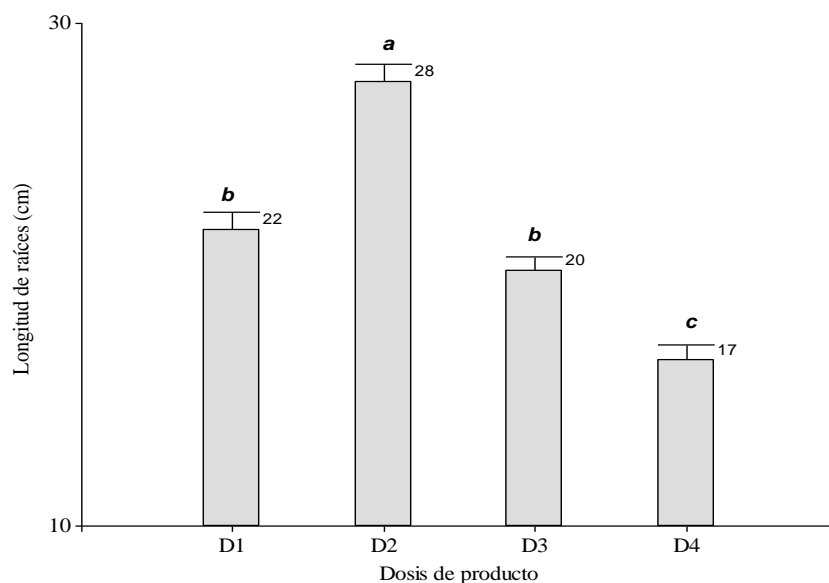


Figura 32. Longitud de raíces de la planta de trigo (*Triticum aestivum* L.).

T1:D1  $2 \times 10^9$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofas; T2:D2  $2 \times 10^8$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofas; T3:D3  $2 \times 10^7$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofas; T4:D4, Sin fertilización química ni biológica

De acuerdo con Delgado (2016), realizando la aplicación de fitohormonas se obtuvo un 60% de enraizamiento y un promedio de raíces de 19 cm. En tanto que, en la presente investigación se obtuvo un enraizamiento del 90%, siendo superior en un 30% a lo reportado por el anterior autor. La efectividad de la dosis D2 en las raíces del trigo obtuvo un promedio de 28 cm. El incremento se debe a que las bacterias diazótrofas aprovechan en su totalidad el nitrógeno atmosférico, liberan metabolitos asimilables por la planta; el nitrógeno es el responsable del crecimiento vegetal (Hernández et al., 2014).

Sin embargo, Palmero et al. (2020), mencionan que al evaluar el efecto de *Azospirillum*, *Pseudomonas* spp y con el testigo en el cultivo de trigo. Obtuvieron incrementos del 8% en 10 DDS y del 21% a los 40 DDS en las dos bacterias, siendo de 18 cm y 22 cm, respectivamente. En tanto, que en el tratamiento control el tamaño de raíces fue de 15 cm. Dichos resultados son similares a los del presente estudio, debido a que se obtuvo un incremento radicular con *Azospirillum* del 29%, respecto al testigo. Siendo de 24 cm con bacteria y de 17 cm sin fertilización.

En un estudio realizado por Lara (2013), en trigo con la inoculación de *Azospirillum* con dosis de  $2 \times 10^9$  UFC/ ml,  $2 \times 10^8$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofas y sin fertilización tratamientos a los 30 días se observó que las plantas en el T1 (15 cm), T2 (16 cm) y T3

(12 cm). Los T1 y T2 mostraron un 20% de superioridad en longitud radicular comparado con el testigo, lo cual equivale a 3cm. Estos resultados no concuerdan con los resultados obtenidos en este ensayo, la longitud radicular con bacteria fue superior con 9 cm y el testigo con 5 cm, los cuales representan el 33% y el 29%, respectivamente.

De igual forma, es importante resaltar que las bacterias diazótroficas son fijadoras de nitrógeno, elemento responsable del crecimiento de las plantas (Dos Reis, Urquiaga y Dobereiner, 2006). Consecuentemente esto no en la fertilización química por ello se presentó un crecimiento inferior en un 39%.

Bécquer et al. (2015), quienes al inocular bacterias rizosféricas *Sinorhizobium* y *Azospirillum* en trigo a una concentración de  $2.5 \times 10^8$  UFC/ml lograron el incremento radical de 25 cm; asimismo. Similar resultado obtuvo Rodríguez (2015), donde la mejor longitud de raíz en tomate alcanzó los 57 cm de largo con la inoculación de la cepa *Azospirillum* GCN1 con 50% de N, superando al testigo en un 50%. El beneficio de inocular *Azospirillum* es evidente, aunque en este estudio la diferencia en las longitudes de raíces con respecto al testigo fue del 39%.

Al respecto Toniutti y Fornasero (2008) reportan resultados similares ya que *A. brasilense* incrementó en el 82% la longitud radicular de *Setaria lachnea* en comparación con las plantas no inoculadas. Cura et al. (2005) y Greer et al. (2004), afirman que al inocular semillas con *Azospirillum* producen un mayor enraizamiento de las plantas, lo cual les permite explorar una mayor superficie de suelo. Consecuentemente las plantas inoculadas presentan mayor longitud de raíces, en este estudio la superioridad respecto al testigo fue del 39%, lo cual se asemeja a lo obtenido por los autores citados, del 50%.

#### 4.1.5 Peso de raíces

En la tabla 19 se muestra el análisis de varianza para la variable peso de raíces, en donde se indica que existe diferencias estadísticas del efecto de las dosis empleadas en los tratamientos en estudio de bacterias diazótroficas ( $F=100.31$ ;  $gl= 3,114$ ;  $P= <0.0001$ ).

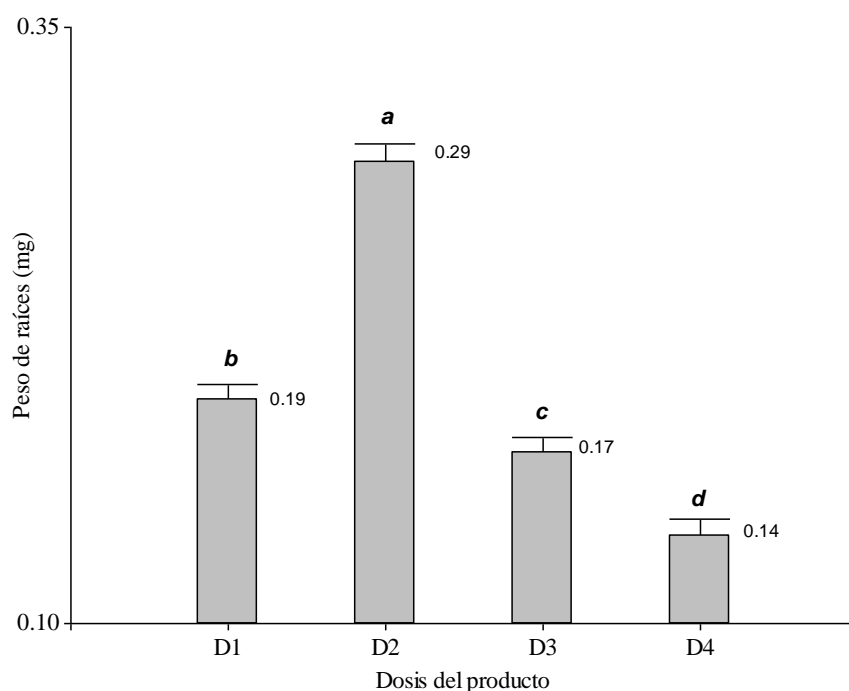
Tabla 16

*ADEVA de peso de raíces de plantas de trigo (Triticum aestivum L.)*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
----------------------	--------------------	------------------------------	------------	------------

Intercep	1	114	3499.97	<0.0001
Dosis	3	114	100.31	<0.0001

Los resultados de la presente variable muestran la conformación de cuatro rangos, en donde coincide que las raíces de mayor peso son las que recibieron inoculación de bacterias diazótrofes (Figura 33).



*Figura 33* . Peso de raíces de plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.), con aplicación de bacterias diazótrofes.

T1:D1  $2 \times 10^9$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofes; T2:D2  $2 \times 10^8$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofes; T3:D3  $2 \times 10^7$  UFC/ ml de Bacterias Diazótrofes; T4:D4, Sin fertilización química ni biológica

En la figura 33, se muestra que con la inoculación de la dosis 2 se obtuvo mayor peso de raíz con una media 0.29 mg, siendo la concentración más efectiva para ser llevada a campo. Después se ubica las dosis 1 que forma un rango independiente con un promedio de peso de 0.19 mg; la dosis 3 también constituye un rango distinto y fue el de menor peso con inoculación de bacterias de diazótrofes. El testigo obtuvo el peso más bajo de raíz de los cuatro tratamientos alcanzó un promedio de 0.14 mg.

Es necesario recalcar que el tratamiento que obtuvo el mayor peso radicular es superior por el doble con respecto del testigo, este resultado confirma que las bacterias diazótrofes

tienen influencia en el desarrollo radicular y la fertilización química interfiere en la asimilación de nutrientes en la microbiota del suelo (Morales, Castro y García, 2016).

Según Rangel y Rodríguez (2011), mencionan que al aplicar cepas de *Azospirillum* en dosis de  $2 \times 10^9$  UFC y fertilización química en maíz, obtuvo pesos de 0.28 mg y 0.07 mg, respectivamente. Con fertilización química el peso radicular, disminuyó en un 41%. Los resultados obtenidos en este estudio fueron similares a los mencionados por los autores respecto al tratamiento con bacterias, debido a que se observó un incremento de peso promedio de 0.22 mg. Sin embargo, el testigo presentó una superioridad en peso del 42% respecto a lo obtenido con fertilización química, mismo que equivale a 0.06 mg.

Por otra parte Sánchez, Carreño y Mendoza (2010), en un estudio realizado en cebada y arroz, con la aplicación de T1 *Azospirillum*, T2 fertilización química y T3 Testigo. Obtuvieron los siguientes pesos radicales 0.24 mg, 0.10 y 0.14 mg, respectivamente. Dichos resultados son similares a los obtenidos en este estudio, en el tratamiento que se empleó bacterias se obtuvo un peso de 0.29 mg, siendo superior en un 17% al peso mencionado por los autores antes citados. En tanto que, el peso obtenido en el testigo fue igual.

## 4.2 Fase 2 (Campo)

En la fase de campo los tratamientos establecidos fueron entre la aplicación de las bacterias diazóticas y los requerimientos de nitrógeno como se lo expone en la tabla 8.

### 4.2.1 Macollamiento

De acuerdo con la tabla 20, en el análisis de varianza se determinó que existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos establecidos en el ensayo ( $F=5.32$ ;  $gl=4.143$ ;  $p < 0.0005$ ), para la variable número de macollos de la planta de trigo.

Tabla 17

*ADEVA de número de macollos*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
Intercep	1	143	1481.72	<0.0001
Tratamiento	4	143	5.32	<0.0005

Los resultados para la presente variable determinaron la conformación de dos rangos, el primero distinguido por el literal a que corresponde al tratamiento BD75% y el rango b compuestos por los otros cuatro tratamientos.

En la figura 34, se puede apreciar que mediante la aplicación de la dosis 3, se obtuvo el mayor número de macollos con una media de 3.1%, comparado con el resto de los tratamientos que no presentaron diferencias estadísticas entre sí. Los tratamientos 1, 2, 4 y 5 presentaron una similitud en el número de macollos en el cultivo de trigo con una media de 2.4%.

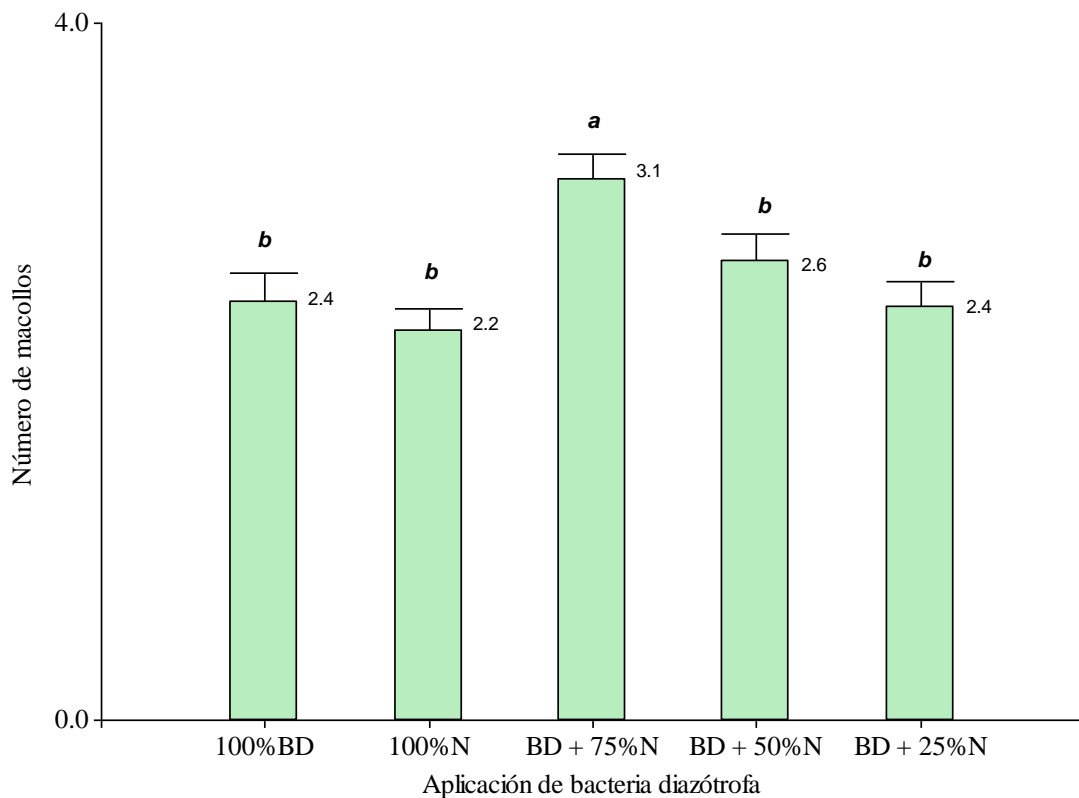


Figura 34. Número promedio de macollos en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.).

T1: BD+25%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T2: BD+50%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T3: BD+75%N Bacteria Diazótrofa+ Nitrógeno; T4: 100% Nitrógeno; T5: BD 100% Bacteria Diazótrofa

En un estudio realizado por Ciolfi y Col (2017) en la fertilización de cebada con *Azospirillum*+ fertilización química, encontraron aumentos del 10% en el peso seco de hojas y en el número de macollos en cebada independientemente del contenido de nitrógeno en el suelo. Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con lo



expuesto, ya que se obtuvo un incremento en el número de macollos en el tratamiento 3, presentado una superioridad del 26% al resto de tratamientos.

Por otro lado, Salgado (2019), obtuvo un incremento del 4% en el macollaje del testigo (27 vs 24) comparado con el tratamiento inoculado con *Azospirillum*, respectivamente. En el presente estudio sucedió lo contrario con la bacteria el número de macollos fue superior en un 8% respecto al testigo. No obstante, Arrambide (2018) en un estudio realizado en cebada determinó que no existieron diferencias significativas entre el número de macollos obtenidos con *Azospirillum*(100), y fertilización química+ *Azospirillum* (97) y testigo (104). Cabe mencionar que este estudio se asemeja al presente ensayo, en el cual demostró que el número de macollos no depende netamente de la fertilización empleada.

De acuerdo con Villarreal (2010), el macollamiento en cereales de grano pequeño es importante ya que pueden aumentar el número de espigas o panículas y por lo tanto incrementar el rendimiento en un 85%. Ramírez (2011), en su estudio determinó que el número de macollos no depende de la fertilización solamente, ni de aplicación de bio estimulantes, sino de la variedad, época de siembra y de las condiciones climáticas. En esta investigación se obtuvo un mayor número de macollos en el tratamiento 3 al combinar a la fertilización con bacteria diazótrofes y nitrógeno en un 75%.

Finalmente, la FAO (2014), menciona que el número de macollos óptimos que debe tener una planta de trigo son de 1 a 5, de los cuales solo 2 o 3 son productivos el resto son improductivos. El número de macollos obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de ese rango ya que se obtuvo 2 en los tratamientos 1,2,4 y 5; en tanto que en tratamiento 3 se registró 3 macollos.

#### **4.2.2 Porcentaje de materia seca**

En la tabla 21, el análisis de varianza dio a conocer que no existió diferencias estadísticas entre los tratamientos establecidos ( $F=0.09$ ;  $gl=4,8$ ;  $p= <0.9837$ ), para la variable materia seca del trigo.

Tabla 18

*ADEVA materia seca*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
Intercep	1	8	178.27	<0.0001
Tratamiento	4	8	0.09	<0.9837

Con respecto a la variable porcentaje de materia seca se pudo evidenciar que no existió diferencias estadísticas entre los tratamientos aplicados en campo, debido a que todos presentaron un mismo rango y una media de 21.93%. Pero podemos observar que existe una diferencia numérica entre los tratamientos; siendo 2,3 y 5 similares entre sí, con una media del 22.39% (Tabla 22).

Tabla 19

*Tabla de medias y errores estándar LSD fisher (alfa=0.05)*

Tratamientos	Medias±	E.E.
2	22.76±	2.67 A
5	22.24	2.67 A
3	22.17	2.67 A
4	21.53	2.67 A
1	20.95	2.67 A

A pesar de que no existe diferencias estadísticas para esta variable es necesario destacar el comportamiento de los tratamientos propuestos, puesto que resultaron con pesos similares para materia seca a los conseguidos por el testigo.

En un estudio realizado por Cárdenas Caro (2009) en pasto guinea (*Panicum maximum*) encuentro aumentos del 26% en el contenido de proteína cruda y 45,67% en la materia seca foliar con inoculación simple con *Azospirillum* o combinado con fertilización nitrogenada comparado con plantas tratadas solo con fertilización nitrogenada o testigos. Por lo contrario, en esta investigación no se observó esas diferencias entre los tratamientos en estudio, debido a que se obtuvo un contenido promedio del 23%.

Lestingi y Col (2007) en cebada (*triticale*), encontraron que la bio fertilización con *Azospirillum* logró respuestas positivas en el incremento de materia seca producida equivalentes a una dosis de 50 Kg N ha<sup>-1</sup>. El contenido de materia seca en tratamiento con inoculación de *Azospirillum* fue similar al resto de tratamientos. De igual forma Díaz (2014), menciona que no existió diferencias estadísticas entre los tratamientos aplicados en su investigación presentaron un mismo rango y una media de 20.75%. Dichos resultados son similares a lo obtenido en este ensayo, debido a que no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos presentaron una media del 21.90% independientemente de la fertilización empleada.

Median, Bustamante, Lobo y Vargas (2008), mencionan que el contenido de materia seca se emplea como un indicador para mejorar la relación entre asimilación de nutrientes y el crecimiento. Representa el balance entre el flujo de carbohidratos y la capacidad de los órganos para captarlos (Vaieretti, Díaz, Ville y Garnier, 2007). Así mismo, la inoculación de plantas con *Azospirillum* puede afectar muchos parámetros relacionados con el follaje, estos cambios se atribuyen directamente a efectos positivos en la absorción de minerales por parte de la planta (Montenegro et al., 2017)

#### 4.2.3 Altura

Los resultados del análisis estadístico expresaron, que existió una interacción entre los días después de la siembra y los tratamientos empleados ( $F=4.85$ ;  $gl=8,433$ ;  $p=-<0.0001$ ) para la variable altura planta (Tabla 23).

Tabla 20

ADEVA *Altura de planta de trigo (Triticum aestivum L.)*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
Intercep	1	433	3857.50	<0.0001
Días	2	433	1025.51	<0.0001
Tratamiento	4	433	11.74	<0.0001
Días Tratamiento	8	433	4.85	<0.0001

Con respecto a los tratamientos luego de haber realizado la toma de tres lecturas a los 17, 55 y 75 días después de la siembra, el cultivo de trigo presentó mayor desarrollo a los 75

días (Figura 35). En las tres lecturas se establecieron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Es así que a los 17 DDS se conformaron cuatro rangos, a los 55 DDS dos rangos y a los 75 DDS dos rangos.

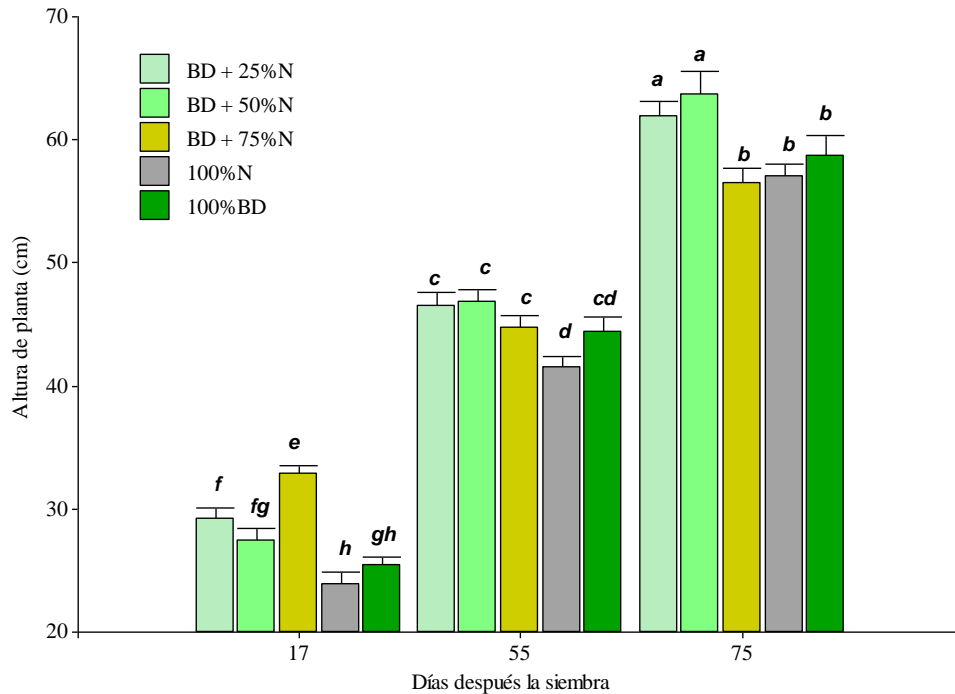


Figura 35. Altura de la planta de trigo (*Triticum aestivum* L.).

T1: BD+25%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T2: BD+50%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T3: BD+75%N Bacteria Diazótrofa+ Nitrógeno; T4: 100% Nitrógeno; T5: BD 100% Bacteria Diazótrofa

Con respecto a la altura de la planta de trigo (*Triticum aestivum* L.) a los 17 después de la siembra (DDS), la mayor altura se obtuvo en el tratamiento 3 con una media de 32.90 cm, seguido del tratamiento 1 y 2 que presentaron una altura similar entre sí con una media de 28.32 cm. Por otro lado, el tratamiento 2 fue superior en un 29.17% al tratamiento 5 y en un 18% al tratamiento 4. Así mismo, la altura obtenida al emplear el tratamiento 3 fue superior en 27% a la altura del tratamiento 4 que presentó menor longitud de plantas de trigo (Figura 35).

A los 55 (DDS), los tratamientos 1,2 y 5 presentaron alturas similares entre sí con una media de 45.61cm y conforman un mismo rango, pero a su vez el tratamiento 5 presenta una similitud con respecto al tratamiento 4 con una media del 42.95 cm. No obstante, los tratamientos 1,2 y 3 fueron superiores en 10% comparados con el tratamiento 4.

Finalmente, a los 75 días (DDS), la mayor altura de planta se obtuvo en los tratamientos 1 y 2 con una media de 62.82 cm, en el resto de los tratamientos se obtuvo una similitud de altura con una media de 57.42 cm. La altura de planta obtenida en los tratamientos 1 y 2 fueron superiores en un 9 % a lo registrado en los tratamientos 3,4 y 5 (Figura 35).

Piscoya y Ugaz (2016), evaluaron el efecto de las bacterias *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Enterobacter* spp nativas agregado el 50% de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de maíz amarillo duro y obtuvieron el incremento de altura (0.74 al 19%). La altura de planta de trigo en este estudio fue superior en las tres lecturas en los tratamientos fertilizados con *Azospirillum*+ N, la bacteria por sí sola no mostro mayor efectividad en el crecimiento de la planta.

De igual manera Gonzáles (2010), dio a conocer que con la aplicación de *Azospirillum brasilense* en estudios de maíz, se registraron mayor altura de plantas a los 72 días y 110 días, con un aproximado de 250 a 260 cm diferenciando un 20% mayor que los tratamientos aplicados con nitrógeno químico. Por el contrario, en esta investigación las alturas fueron superiores en los tratamientos que incluyeron la bacteria Diazótrofa + 50% N.

Villa (2014), menciona que la inoculación de *Azospirillum brasilense* estimula el desarrollo de la planta con mayor intensidad en la raíz y en la altura, debido a que actúa como promotora de crecimiento. Facilita la fijación de nitrógeno atmosférico y del suelo, siendo el elemento responsable del crecimiento de la planta (Rangel, 2014).

#### 4.2.4 Número de espigas x metro cuadrado

En el análisis del número de espigas por metro cuadrado se puede observar que existió diferencias significativas entre tratamientos ( $F= 5.55$ ;  $gl= 4.8$ ;  $p< 0.0194$ ), permitiendo determinar que hubo incrementos de números de espiga por parcela de acuerdo a cada tratamiento aplicado (ver tabla 24).

Tabla 21

ADEVA número de espigas de trigo (*Triticum aestivum* L.)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
Intercep	1	8	6822.05	<0.0001

Tratamiento	4	8	5.55	<0.0194
-------------	---	---	------	---------

El análisis estadístico determinó la conformación de dos rangos para esta variable en donde 4 tratamientos obtienen similitud estadística y el tratamiento 4 conforma un rango individual y que coincide con el de menor altura.

Se puede evidenciar en la figura 36, que los tratamientos obtuvieron resultados positivos mediante bacterias diazótrofes más fertilización química en diferentes porcentajes de fertilización de nitrógeno, de esta manera el mejor tratamiento con mayor número de espigas por parcela fue el tratamiento 1 con una media de 170 espigas por metro cuadrado; cabe mencionar que el tratamiento 2 obtuvo valores casi similares al tratamiento 1, la diferencia fue del 2%. De esta manera se evidencia que el tratamiento 4, registró el menor número de espigas con una media de 144, comparado con el resto de los tratamientos de la presente investigación.

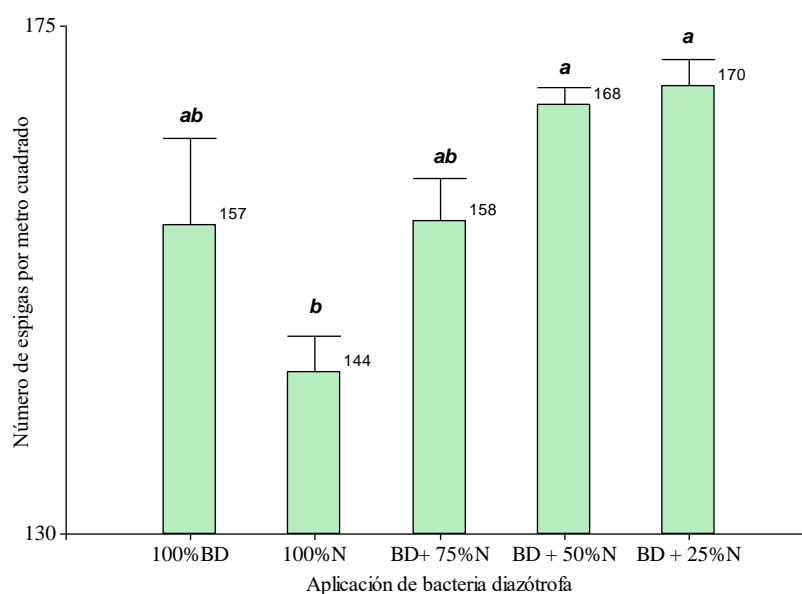


Figura 36. Número de espigas de trigo (*Triticum aestivum* L.).

T1: BD+25%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T2: BD+50%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T3: BD+75%N Bacteria Diazótrofa+ Nitrógeno; T4: 100% Nitrógeno; T5: BD 100% Bacteria Diazótrofa

Grijalva (2016), mediante la aplicación de *Azospirillum* a una dosis de  $2.5 \times 10^8$  UFC/ml y de 125kg de N/ha en su investigación menciona que favoreció al crecimiento de cultivo de trigo, al número de espigas y espiguillas. Obteniendo un rendimiento de 411 y 470 número de espigas/ m<sup>2</sup>. En este estudio no se pudo obtener ese número de espigas en ninguno de los tratamientos, el número de espigas obtenidas al emplear fertilización de

*Azospirillum* y *Azospirillum* +N fueron similares. Sin embargo, con fertilización 100% N presentó menor cantidad de espigas.

En cambio, en un estudio realizado por Arrambide (2017), en el cultivo de cebada cervecera, en tres tratamientos con inoculación de *Azospirillum*, fertilización química + *Azospirillum* y el testigo obtuvieron 94,134 y 132 espigas/ m<sup>2</sup> respectivamente, los cuales no presentaron diferencias estadísticas. Por el contrario, los resultados de este estudio fueron superiores en un 33%, 12% y en un 8%, respectivamente a lo mencionado por Arrambide en su estudio.

### **.2.5 Contenido foliar de nitrógeno (N)**

El contenido foliar de nitrógeno del cultivo de trigo no existió un análisis estadístico, debido a que no existen repeticiones. En la figura 37, se puede observar que el contenido de nitrógeno (N) foliar fue superior al 4% en todos los tratamientos independientemente del tipo de fertilización empleada. Es notorio una leve diferencia en el contenido de N foliar del T1 y T2, respecto al T3, T4 y T5 siendo del 8%. A su vez los tratamientos 3,4 y 5 presentaron un contenido de nitrógeno foliar similar (Figura 37).

Los resultados obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los rangos óptimos de macro y micronutrientes a nivel foliar en el cultivo de trigo, como se puede observar en la metodología establecida en la (Tabla 11), de acuerdo con lo establecido por West Analítica y Servicios (2018).

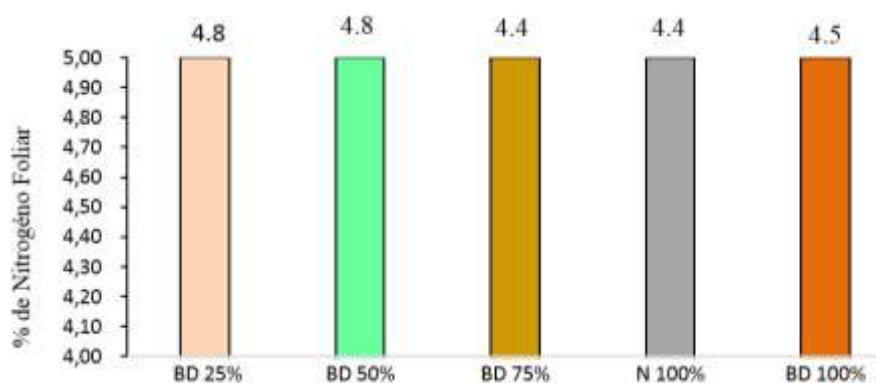


Figura 37. Contenido foliar de nitrógeno en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L).

T1: BD+25%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T2: BD+50%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T3: BD+75%N Bacteria Diazótrofa+ Nitrógeno; T4: 100% Nitrógeno; T5: BD 100% Bacteria Diazótrofa

En estudio realizado por Sangoquiza, Yáñez y Borges (2019), en el cultivo de maíz, con el empleo de cinco tratamientos con una dosis de  $10^8$  UFC/ml, Tratamientos: T1, *Azospirillum* sp.; T2, *Pseudomonas fluorescens*; T3, *Azospirillum* sp. + *Pseudomonas fluorescens*; T4, Control químico con (N y P); T5, Control absoluto (sin inoculación). Obtuvieron un contenido de N en el tejido foliar superior al 5% en todos los tratamientos independientemente de la fertilización. Sin embargo, se destacó que el T3 (*Azospirillum* sp. + *Pseudomonas fluorescens*) presentó un mayor porcentaje de acumulación de (N, P, K) en el tejido foliar, respecto al T4 (control químico) y T5 (control absoluto). Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron similares a los expuestos por los autores antes mencionados, puesto que fueron superiores en un 1%.

En un estudio realizado por Plana, Medina, Moreno y Ramírez (2016) en el cultivo de trigo con los siguientes tratamientos T1, Testigo absoluto; T2, Fertilización mineral; T3, *Burkholderia cepacia* + 45 kg de N ha<sup>-1</sup>; T4, *Azospirillum brasilense* +45kg de N ha<sup>-1</sup>, se obtuvo los siguientes resultados T1; 2.7%, T2; 3.4%, T3; 3.0% y T4; 3.2%. El T2 presentó una superioridad del 21% al T1, del 12% al T3 y del 6% respecto al T4 del contenido de N foliar. Cabe destacar, que los resultados expuestos por los autores antes citados son inferiores en un 1% comparado a los obtenidos en el presente estudio referente al contenido de nitrógeno foliar.

#### 4.2.6. Rendimiento

El análisis de varianza con respecto a la variable rendimiento del cultivo de trigo a finalizar el ciclo de producción, demostró que existió diferencias significativas entre los tratamientos empleados en campo ( $F= 7.64$ ;  $gl= 4.114$ ;  $p< 0.0077$ ), (tabla 25).

Tabla 22

*Rendimiento de trigo (Triticum aestivum L.)*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del Error	Valor de F	Valor de P
Intercep	1	114	84.76	<0.0001
Tratamiento	4	114	7.64	<0.0077



Los resultados estadísticos muestran la conformación de tres rangos en donde el mejor desempeño productivo lo obtiene el T3 el cual no difiere estadísticamente del T2, el segundo rango es el T1 el cual no difiere de los T4 y T5

En la figura 38, se puede observar que hubo un efecto verdadero con respecto a la aplicación de tratamientos en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.), por la cual el tratamiento 3 fue el más efectivo obtuvo un rendimiento de 6667 kg ha<sup>-1</sup>, seguidos de los tratamientos 1 y 2 con una media de 4792 kg ha<sup>-1</sup>, de esta manera se puede evidenciar que los tratamientos con menores rangos de rendimiento de trigo fueron tratamiento 4 y 5, con una media de 3541 kg ha<sup>-1</sup>.

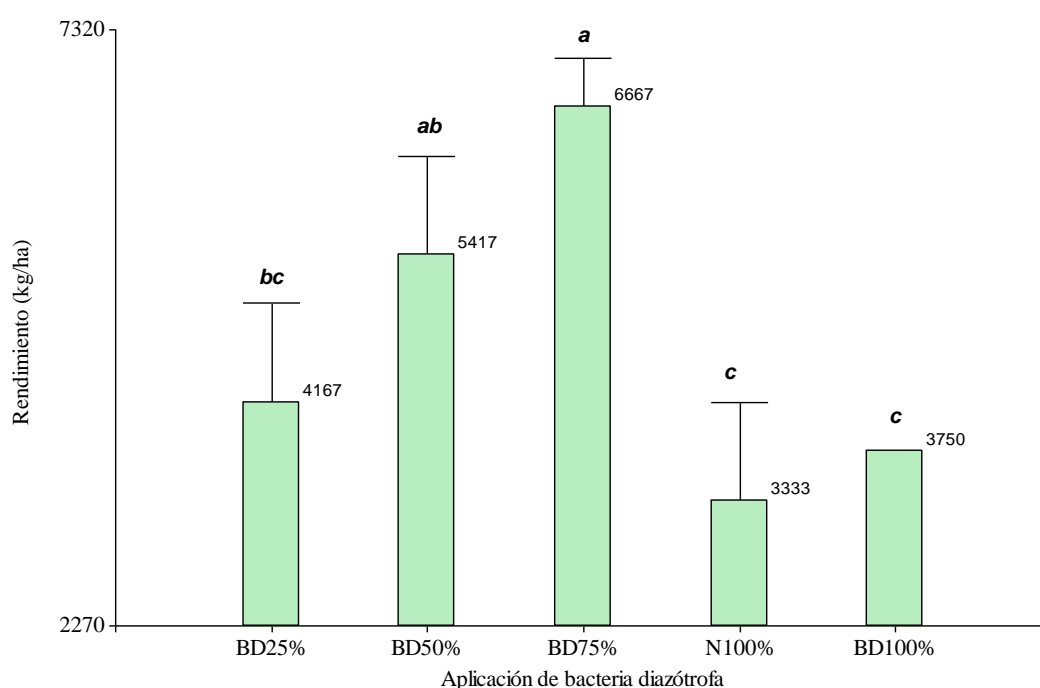


Figura 38. Rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.).

T1: BD+25%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T2: BD+50%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T3: BD+75%N Bacteria Diazótrofa+ Nitrógeno; T4: 100% Nitrógeno; T5: BD 100% Bacteria Diazótrofa

De acuerdo con lo mencionado por Falconi (2016), la variedad de trigo INIAP 2014, presentan rendimientos de 4000 kg ha<sup>-1</sup>, en esta investigación se obtuvieron rendimientos superiores a los establecidos por la variedad en los tratamientos 1, 2 y 3. El tratamiento 3, que consta de bacterias diazotrofas + el 75% de Nitrógeno fue superior en un 40% al establecido por la variedad, pudiéndose resaltar así la importancia de la bacteria en la asimilación de la fertilización química. Por otro lado, se puede evidenciar que el

rendimiento obtenido en la fertilización con 100% nitrógeno fue inferior en 17% a lo determinado.

Bashan et al., (2007), dan a conocer que en los cultivos inoculados a nivel de campo de con *Azotobacter* y *Azospirillum*, incremento rendimiento del trigo de 20% hasta 60%. El incremento del rendimiento a la cosecha en este estudio fue del 40% al combinar bacterias diazótrofes + fertilización nitrogenada, lo cual concuerda con lo mencionado por los autores. Sin embargo, no se obtuvo dicho incremento en la parcela fertilizada solamente con bacteria diazótrofes, presentando un rendimiento inferior en un 6% al establecido para la variedad de trigo que se empleó.

Rangel et al., (2014), en un estudio del cultivo de maíz con inoculación de cepas nativas de *Azospirillum* y también maíz tratados con nivel medio (40 kg de N/ha) y alto de N (80 kg de N/ha). Demostraron que el incremento de fertilizante nitrogenado redujo el efecto promotor de las cepas de *Azospirillum spp* en el rendimiento de grano de maíz en un 14%. Por el contrario, en esta investigación los rendimientos se encuentran dentro de lo establecido para la variedad. Se obtuvo un menor rendimiento en el tratamiento de bacterias diazótrofes al 100% y N al 100%, lo cual está podría estar relacionado con el contenido inicial de nitrógeno en el suelo.

#### **4.2.7 Análisis económico**

En la Tabla 26, se observa que los costos de producción del cultivo de trigo estuvieron en el intervalo de 1577.74 hasta 1726.24 USD ha<sup>-1</sup> siendo el T5 el menor y T3 el más elevado, respectivamente. En tanto que, los T1 y T4 fueron iguales. Los costos obtenidos en este estudio no están acorde a lo mencionado por Vallejos (2019), de un sistema semi tecnificado de producción de trigo con rendimiento de 4000 kgha<sup>-1</sup>, los cuales oscilan entre 960 a 1000 USD ha<sup>-1</sup>. Los costos adquiridos en esta investigación fueron superiores en un 65% a lo establecido es decir 647.02 USD más. Sin embargo los rendimientos fueron superiores en un 35% en los tratamiento 1, 2 y 3. Aunque la inversión inicial cuestan más y la productividad se ve disminuida al corto plazo, pero en el largo plazo la inversión se ve compensada por el aumento en la productividad.

De acuerdo a Hernández et al, (2014), las bacterias diazótrofes permitieron un mayor aprovechamiento del nitrógeno atmosférico, transformando en metabolitos asimilables

por la planta. De igual forma, al combinar con fertilización química facilitó la nutrición del cultivo obteniendo plantas sanas y vigorosas, las cuales permitieron obtener altos rendimientos.

Tabla 23

*Análisis económico por tratamiento expresado en hectáreas del cultivo de trigo (Triticum aestivum L)*

Indicadores	TI	T2	T3	T4	T5
Costos de producción	1627.24	1676.64	1726.24	1627.24	1577.74
Ingresos por venta	2041.33	2654.33	3266.83	1633.17	1837.50
Rendimiento	4167.0	5417.0	6667.0	3333.00	3750.0
Utilidad bruta	41409	977.69	1540.59	5.93	259.76
B/C	1.25	1.58	1.89	1.00	1.16

Nota: T1: BD+25%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T2: BD+50%N Bacteria Diazótrofa + Nitrógeno; T3: BD+75%N Bacteria Diazótrofa+ Nitrógeno; T4: 100% Nitrógeno; T5: BD 100% Bacteria Diazótrofa

Cabe mencionar que los costos elevados se deben a que están proyectados a un cultivo de trigo en surcos, lo cual demanda mayor mano de obra. De igual forma el sistema de riego empleado, siendo el riego por aspersión, esto debido a la facilidad de manejo del cultivo en estudio. Regularmente en el cultivo de trigo no se emplea sistema de riego, puesto que es un cultivo de secano (Anexos 3 y 4).

#### **4.2.7.1 Beneficio/ costo**

Para realizar el análisis de la Relación Beneficio/Costo, se consideraron los costos directos e indirectos, que incurrieron en la producción de trigo y el precio de venta de la cosecha en los mercados. De acuerdo a la Asociación Ecuatoriana de Molineros (ASEMOL, 2020) actualmente existe una demanda de este producto que ha determinado un precio de 22 USD el saco de 45 kg, obteniéndose de esa forma un precio de 0.49 USD/kg.

El trigo debe cumplir con estándares de calidad, 15% de humedad, 13% de proteínas, 250s de HFN (Hagberg Falling Number) se refiere al conteo de proteína amilasa, y un peso específico de 76 kg/hl. Esto debido a que la industria de la panificación es muy exigente (Yarecuador, 2021). No obstante, en las pequeñas bodegas al momento de

adquirir el producto se fijan en la semilla sana, limpia y bien conservada de *fagopyrum sagittatum gibib* (Malla y Ontaneda, 2018).

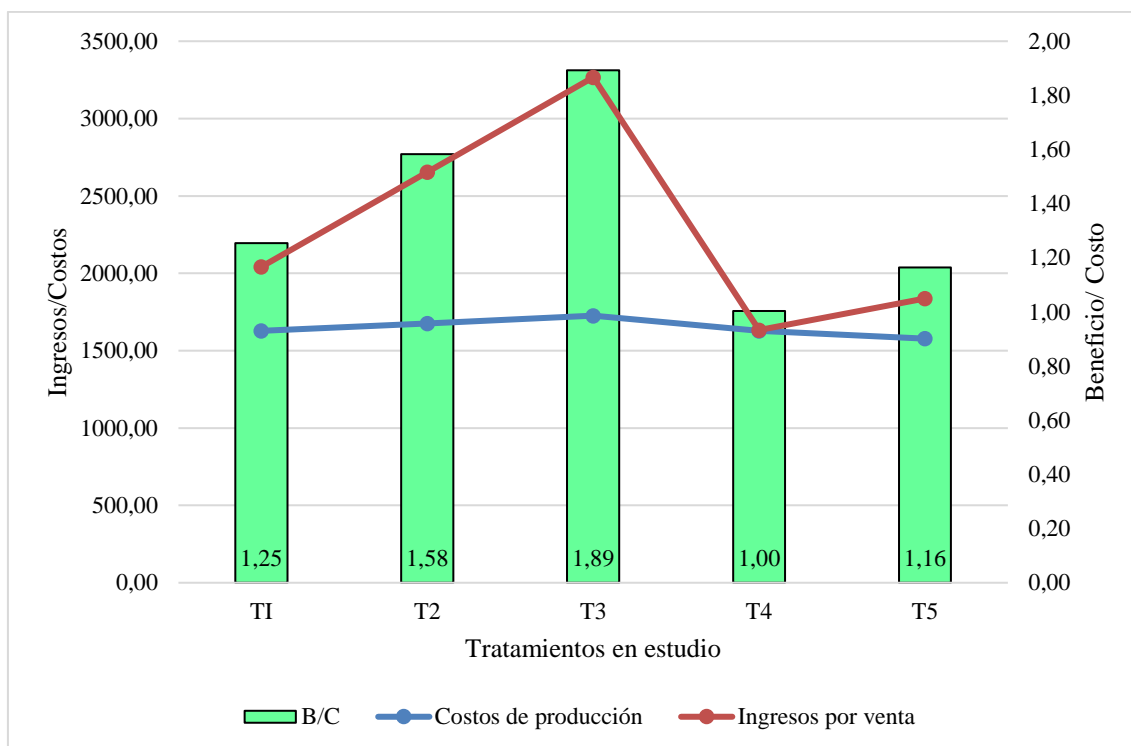


Figura 39. Relación Beneficio costo de los tratamientos en estudio.

Los beneficios se evidenciaron en los tratamientos 1, 2, 3, y 5, los cuales fueron de 1.25, 1.58, 1.89 y 1.16, respectivamente. Es decir que por cada dólar que invierte obtiene 0.25, 0.58, 0.89 y 0.16 USD de ganancia. Según el análisis del beneficio/costo los T2 y T3 obtuvieron el mejor comportamiento con este índice financiero, puesto que resultan con valores de 1.58 y 1.89 respectivamente, lo que infiere que su nivel de productividad resultara en un ejercicio económico rentable. Por el contrario, en el tratamiento 4 existió un equilibrio en el beneficio/costo siendo igual a 1, el cual nos muestra que no existieron ganancias ni pérdidas de la inversión inicial (Figura 39).

Por lo tanto, se puede inferir que los tratamientos en estudio fueron económicamente rentables para la producción de trigo en surcos, con aplicación de riego por aspersión y la fertilización combinada entre bacterias diazótroficas + nitrógeno en el cultivo de trigo. Esto debido a que los biofertilizantes constituyen una alternativa viable para reducir costos de producción y el impacto ambiental asociado a la fertilización química. Permitiendo incrementar el valor agregado y el rendimiento de los cultivos de 17% a 50%, mejorando

la fertilidad del suelo y reduciendo las poblaciones de microorganismos nocivos para los cultivos (Schmidt, 2020).

De acuerdo con Arrambide (2018), los costos elevados de producción en la fertilización se reducirán a partir del segundo ciclo de producción en un 40%, debido a que la población de *Azospirillum* en el suelo será mayor, lo cual implica menor incorporación de bio fertilizantes.

La combinación de bacterias diazótrofes+ fertilización química al 50 y al 75%, se determinó una disminución del 25% (20 kg) de fertilizante nitrogenado el ciclo de cultivo de trigo 175 días después de la siembra. Por lo tanto, se puede inferir que en las provincias de Imbabura y Carchi, es posible reducir el porcentaje de fertilizante químico en un 52% en un año, correspondiente a dos ciclos de cultivo. Esto debido a que los suelos predominantes en estas zonas son francos, y francos arenosos, los cuales son aptos para el desarrollo de *Azospirillum* (Ibarra y Chuquín, 2016).

Las bacterias diazótrofes disminuyen el uso de fertilizantes químicos. Esto les brinda un impacto ambiental positivo ya que no sólo permiten disminuir el uso excesivo de fertilizantes tradicionales sino que también disminuyen el uso de energía, debido a que producir una tonelada de amoníaco por medios químicos requiere un aproximado de 7 barriles de petróleo, como fuente de energía para el proceso. Pueden mejorar la textura del suelo y se usan junto con fertilizantes químicos en un inicio. Incrementan la vida útil del suelo y lo mantiene en condiciones de cultivo, ya que hay una menor degradación de la tierra por pérdida de nutrientes, porque los ciclos biológicos de algunos biofertilizantes pueden reponer nutrientes (Aguilar, 2015).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- La inoculación de las bacterias diazótroficas en la semilla de trigo con la dosis 2 ( $D2 \ 2 \times 10^8$  UFC/ ml), tuvo el mejor comportamiento para los procesos de pre-macollamiento, obteniendo un porcentaje y un índice de germinación del 88% y 21% respectivamente, de igual forma presentó el principal crecimiento de las plántulas con 28 cm y un peso radicular 100% superior al testigo.
- La dosis de bacterias diazótroficas en combinación con la fertilización química influyó positivamente en el rendimiento del cultivo de trigo, siendo el tratamiento de bacterias diazótroficas +75% de fertilizante nitrogenado (BD+75% N), el que evidenció la mayor superioridad con respecto del testigo, pero hay que recalcar que todos los tratamientos fueron superiores que el testigo, además permitió alcanzar un rendimiento superior al establecido para la variedad INIAP 2014 que es de 6000 kg/ha, por lo cual se acepta la hipótesis alternativa.
- Los resultados de esta investigación demostraron que hubo una tendencia a aumentar las características agronómicas del cultivo como: el número de macollos, altura de planta, número de espigas por  $m^2$  al combinar *Azospirillum* con dosis de fertilización química. En cambio, respecto al contenido de materia seca y nitrógeno foliar, fueron similares en todos los tratamientos independientemente del tipo de fertilizante utilizado.
- Con respecto al análisis económico, los costos fueron superiores en un 60% a lo establecido para un cultivo de trigo. Sin embargo, esto se compensa con el rendimiento obtenido que fue superior en un 35% al establecido para la variedad. Por otro lado, la relación beneficio se obtuvo en los tratamientos 1, 2,3 y 5, siendo los más sobresalientes los tratamientos Bacteria Diazótrofa +50 %N y Bacteria Diazótrofa +75%N con valores de 1.58 y 1.89, respectivamente. En el tratamiento 4 se registró un equilibrio al obtener 1.0.

## 5.2. Recomendaciones

- Aplicar la metodología de inoculación de *Azospirillum* spp. para ampliar la información sobre el empleo eficiente del biofertilizante en el cultivo de trigo en la variedad INIAP 14 en Imbabura. De igual forma para observar otros efectos de la bacteria en los cultivos de importancia agronómica, se debería implementar más ensayos en distintas localidades con suelos y condiciones climáticas diferentes.
- Se debería emplear el biofertilizante (bacteria Diazótrofa) en combinación con nitrógeno en dosis de  $2 \times 10^8$  UFC/ ml y poder sustituir de a poco el uso de fertilizante químicos en la producción de cultivos de la zona.
- Para difundir los beneficios del biofertilizante a base de *Azospirillum* spp. Se debería realizar conferencias y talleres dirigidos a campesinos o pequeños productores de trigo por parte de profesionales en el área agropecuaria, alimenticia o carreras afines.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acebo , Y., Rives , N., Heydrich, M., y Hernández , A. (2007). Efecto Promotor del Crecimiento Vegetal de cepas *Azospirillum* sp en el cultivo de Arroz . *Cultivos Tropicales*, 29-32 .
- Agroecología Tornos. (09 de 13 de 2018). La guía definitiva de los cereales de Invierno. *Agroecología Tornos*. Obtenido de <https://www.agroecologiatornos.com/la-guia-definitiva-de-los-cereales-de-invierno/>
- Aguilar, M. (2015). “*Selección de bacterias de vida libre eficientes en fijación biológica de nitrógeno como alternativa sustentable para ecosistemas terrestres*” (Tesis de pregrado), Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Andrade, G. (1981). Guía práctica de fertilización de los cultivos en España. Madrid: y Recuperado de [https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/01\\_FERTILIZACI%C3%93N\(BAJA\)\\_tcm30-57890.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/01_FERTILIZACI%C3%93N(BAJA)_tcm30-57890.pdf).
- Arguello Navarro, A. y Madiedo, R. (2016). Evaluación del potencial biofertilizante de bacterias diazótroficas aisladas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *SciELO*. 63(3):238-245.
- Arrambide, I. (2018). *Evaluación del rendimiento y del margen bruto de cebada cervecera (Hordeum distichum) inoculada con Azospirillum brasilense y fertilizada* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Lujan, México.
- Asociación Ecuatoriana de Molineros-ASEMOL. (2020). Demanda interna del trigo en el Ecuador. Recuperado de <http://www.asemol.com/quienes-somos.html>
- Bashan, Y. (1999). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *SciELO*. 20 (1), 246-256.
- Benjumeda, D. (2017). *Bacterias Promotoras Del Crecimiento Vegetal: mecanismos de aplicación* (Tesis de pregrado) Universidad de Sevilla, España.
- Caballero, J. (2006). Caracterización de Bacterias Diazotróficas Asimbióticas asociadas al eucalipto (*Eucalyptus* sp.) en Codazzi, Cesar (Colombia). *Acta Biol.*15(3), 107-120.



- Campillo, F. (2011). Fertilización del cultivo de trigo en el borde costero de la Araucanía, con énfasis en la gestión del nitrógeno. Boletín N° 281, Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39297.pdf>
- Campillo, R. (2013). Fertilización del cultivo de trigo en el borde costero de la Araucanía, con énfasis en la gestión del nitrógeno. Boletín N° 290, Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39297.pdf>
- Canziani, J., y Guimaraes, V. (2009). Comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo del trigo (*Triticum Aestivum* L.) en tres fechas de siembra. *Cultivos Tropicales*. Recuperado <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193237111011.pdf>
- Cardenas Caró. 2014. Inoculación con *Azospirillum* spp y *Enterobacter agglomerans* en Pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq.) en el Departamento de Cesar (Colombia) *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*. 67 (2), 2014, pp. 7271-7280.
- Caroca, R., Zapata, N. y Vargas, M. (2016). Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences (ex Agro-Ciencia)*, 32(2), 94-101. Recuperado a partir de <https://revistas.udec.cl/index.php/chjaas/article/view/302>
- Carrera, J. (2005). *Prontuario de Agricultura Cultivos Agrícolas*. Madrid : Mundi\_Prensa .
- Clavijo, C., Chipana, V., Centeno, J., Zuñiga, D., y Guillén, C. (2012). Aislamiento, caracterización e identificación de bacterias diazotróficas de la rizósfera del cultivo de Olea Europea. *Scielo Analytics*, 1-14. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162012000200006&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162012000200006&script=sci_arttext&tlng=en)
- Ciolfi., F, Contino. J y Criado. M, (2017). Impacto de la inoculación con *Azospirillum brasilense* sobre el flujo interno de N y C en plantas jóvenes de cebada. *AGROTECNIA*.(25).Recuperado de <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/view/2462>
- Collados., C. (2006). *Impacto de inoculantes basados en Azospirillum modificados* (Tesis de posgrado),Universidad de Granada España.

- Correndo, A., y García, F. (2016). International Plant Nutrition Institute. Recuperado de Manejo Nutricional del cultivo de Trigo: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/72A012E0C96ABC2F03257FA30074307E/\\$FILE/Trigo%202016%20-%20Pautas%20Nutrici%C3%B3n.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/72A012E0C96ABC2F03257FA30074307E/$FILE/Trigo%202016%20-%20Pautas%20Nutrici%C3%B3n.pdf)
- Cruz, G. (1991). *Estimación de Evapotranspiración en el Cultivo de Trigo (Triticum aestivum L) Bajo Condiciones de Acolchado Orgánico* (Tesis de pregrado), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CYMMYT (2011). Análisis de riesgo para el trigo genéticamente modificado. *StartWeb*. Recuperado de: <http://www.oedrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Paquetes/DescripciondeLasVariedadesdeTrigo.pdf>
- Delgado, L. (2016). Resistencia in vitro del trigo duro de hábito invernal a *Puccinia triticina* Eriks. *Ciencias Agrícolas*, 1701-1714.
- Díaz, M. (2014). Rendimiento de cultivos de trigo en la region pampeña inoculados con *Azospirillum brasiliense*. *Research Gate*. Recuperado de <http://www.fertilizando.com/articulos/RendimientoCultivosTrigoAzospirillum.pdf>
- Dos Reis, F., Urquiaga, S. y Dobereiner, J. (2006). Influencia de la fertilización con nitrógeno en la población de bacterias diazotróficas *Herbaspirillum* spp. y *Acetobacter diazotrophicus* en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Suelo vegetal*. 219: 153-159.
- Falconi Castillo, E. (2016). INIAP-Imbabura 2014: Nueva variedad de trigo de grano rojo para zonas trigueras del Ecuador. Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales, 2014.
- Duque, J., (2017). *Administración financiera*. Relación beneficio /costo. Colombia: ABCFinanzas. Recuperado de <https://www.abcfianzas.com/administracion-financiera/relacion-costo-beneficio>

- FAO. (2008). Descripción de las fases de desarrollo del cultivo. ¿En qué fases se determina el rendimiento? *Escala Zadoks*. (H. Rawson, Editor). Recuperado de aulavirtual.agro: <http://www.fao.org/3/x8234s/x8234s05.htm#TopOfPage>
- FAO. (2014). Manejo y preparación de suelo agrícolas. Recuperado de Producción y uso de componente en ambientes tropicales y subtropicales.: [https://books.google.com.ec/books?id=WgZ47ud\\_bpoC&pg=PA6&dq=composici#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=WgZ47ud_bpoC&pg=PA6&dq=composici#v=onepage&q&f=false)
- Ferraris , G., y Faggioli, V. (2005). Inoculación con microorganismos con Efecto promotor de Crecimiento. *INTA EEA*, 1-19. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_microorganismos\\_13.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_microorganismos_13.pdf)
- Flores, P., Valero, C., Osuna, P., Corral, B., y Salazar, E. (2013). Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino. *Terra Latinoamericana*.31 (3), pp.211-220. Recuperado en 07 de septiembre de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792013000400211&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000400211&lng=es&tlng=es)
- García , F., Fontanetto, H., y Vivas , H. (2001). La fertilización del doble cultivo trigo-soja *RAFAELA.INTA*. Recuperado de Anuario de Agronomía: [http://rafaela.inta.gov.ar/anuario2001/a2001\\_125.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/anuario2001/a2001_125.htm)
- García- Olivares , J., Moreno- Medina , V., Mendoza- Herrea , A., Rodríguez - Luna , I., y Mayek- Pérez , N. (2007). Efectos de cepas de *Azospirillum Brasilisense* en el crecimiento y rendimiento de Grano de Maíz. *Redalyc*, 305-310.
- García, M., Farías, R., Peña, J. y Sánchez, J. ( enero-marzo, 2006). Inoculación del trigo var. Pavón con *Azospirillum* spp. Y *Azotobacter beijerinckii*. *Terra Latinoamericana*. 23(1), pp. 65-72.
- Garrido, S. (2015). Manual de estudios de ejercicios relacionados del contenido del agua y el suelo y su uso por los cultivos(Manual de Estudio), Chile.Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf;jsessionid=970215ECA512BE852AD174FAA867B0AE?sequence=4>

- González, A. (2010). Respuesta de tres cultivares de maíz a la inoculación con *Azospirillum brasilense* bajo cuatro diferentes dosis de nitrógeno. *Ciencia Ergo Sum*. 18(1) 1-10.
- González, L. (2005). Efecto de la sequía simulada con peg-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. *Cultivos Tropicales*, 26(4), 49-52.
- Grijalva, R. (2016). Nitrógeno en trigo y su efecto en el rendimiento y en la concentración de nitratos y potasio en el extracto celular de tallo (ECT). *SCIELO*, 26 (5) , 48-54.
- Guerrero, A. (1999). *Cultivos Herbáceos Extensivos*. Madrid: Mundi\_Prensa.
- Hernández, A., Rives, N., Acebo, Y., Díaz, A., y Divan, L. (2014). Potencialidades de las Bacterias diazotróficas asociativas en la promoción del crecimiento vegetal de de *Pyricularia oryzae* (Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista de Protección vegetal*, 29 (1), 1-10. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522014000100001&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522014000100001&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Hernández, R. (2017). El grano del trigocaracteristicas generales y algunas problematicas y soluciones de almacenamiento . Recuperado de <http://web.udlap.mx/tsia/files/2015/05/TSIA-81-Juarez-et-al-2014.pdf>
- Ibarra, M., y Chuquín, H. (2016). Diagnóstico de prácticas de manejo agropecuario en el cantón Urcuquí provincia de Imbabura. *Tierra infinita*. Vol. 2. ISSN 2602-8131, pp. 110 – 132.
- Iglesias , M., Fogor , M., Cracogna, M., y Rotela, D. (2003). Inoculación con *Azospirillum* sp en cultivos comerciales, Trigo. *Pymes.unne*, 1-4. Recuperado de <http://www.pymes.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-076.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. (2017). Produccion anual de cultivos de la Region Costa y Sierra. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- INFOAGRO. (2015). Parámetros de produccion del cultivo de Trigo. Recuperado de: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>

- Infobae. (08 de 01 de 2014). Produccion de trigo a nivel mundial-Uruguay desplaza a la Argentina como exportador de trigo a Brasil. Recuperado de <https://www.infobae.com/2014/01/08/1535654-uruguay-desplaza-la-argentina-como-exportador-trigo-brasil/>
- Llillan, F. (2005). *Microbiología Básica , Ambiental y Agrícola (Manual de buenas prácticas y de manejo de microorganismos)*, Facultad de Agronomía Universidad de la Republica. Recuperado de: [www.fagro.edu.uy/.../95-biologia-vegetal?...microbiologia-basica-ambiental-y-agricola](http://www.fagro.edu.uy/.../95-biologia-vegetal?...microbiologia-basica-ambiental-y-agricola)
- Lara, C. (2013). Impacto de inoculación con la bacteria nativa Azospirillum sobre oryza sativa l. en Córdoba–Colombia. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.11* (2)35-42.
- Lestingi A, De Giorgio D, Montemurro F, Convertini G y Laudadio V. 2007. Efectos de los bioactivadores sobre el rendimiento y la composición de la calidad del forraje de *triticale* como recurso alimenticio para animales. *Revista de agricultura alimentaria y medio ambiente*, 5 (1), 164.
- Llive, F. (2016). Vulnerabilidad y dependencia internacional de fertilizantes en el Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL*, 29 (2). Recuperado a partir de <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/542>
- Libro VI TULSMA (2015). Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Quito, Ecuador: Editora Nacional.
- Loredo , O., López , R., y Espinoza , V. (04 de 2004). Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal Asociadas con Gramíneas . *TERRA Latinoamericana* , 22(2), 225-239. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57322211.pdf>
- Luis, A., Ventimiglia, A., Torres, L., y Camarasa, J. (2008). Fertilización en Trigo con diferentes fuentes de nitrógeno *HAIFA:Pioneering Future*. Recuperado de: <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20Trigo%20con%20NPS.a>  
sp
- Malla, L. y Ochoa, A. (2018). *Análisis financiero sobre la regulación a las importaciones como medidas de protección para el mejoramiento y desarrollo de las PYMES*

*Alimenticias -subsector harinas, panificación y cereales ubicadas en la Provincia de Pichincha cantón Quito, periodo 2012 -2017.*(Tesis de grado), Universidad Central del Ecuador, Quito.

Mamani, J. (2018). Efecto de la inoculación con bacterias diazotróficas en la germinación y crecimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* WILD.) en condiciones controladas (Tesis de Posgrado).Universidad Nacional del Antiplano, Perú.

Martinez, P., y García, D. (2010). Bacterias diazotróficas y solubilizadoras de fosforo aisladas de las especies forestales altoandinas colombianas *Weinmannia tomentosa*. *INTROPICA*, 5(1), 1 -75. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/259466175\\_Bacterias\\_diazotroficas\\_y\\_solubilizadoras\\_de\\_fosforo\\_aisladas\\_de\\_las\\_especies\\_forestales\\_altoandinas\\_colombianas\\_Weinmannia\\_tomentosa\\_y\\_Escallonia\\_myrtilloides](https://www.researchgate.net/publication/259466175_Bacterias_diazotroficas_y_solubilizadoras_de_fosforo_aisladas_de_las_especies_forestales_altoandinas_colombianas_Weinmannia_tomentosa_y_Escallonia_myrtilloides)

Montejo, D., Casanova, F., García, M., Díaz, V., y Morales, E. (2018). Foliar and radical response of maize to biological-chemical fertilization in a Luvisol soil. *SciELO*, 2215-3608.

Morales, C., Castro, E. y García. (2016).Efecto de lipopolisacáridos de *Azospirillum brasilense* Sp245 sobre el crecimiento de plántulas de pepino. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, UMSNH.*Ciencia Nicolaita*, (78) pp 1-12

Moreno, I., Ramírez, A., Plana, R., y Iglesias , L. (2001). Cultivo de Trigo:Resultados de Producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4) 55-67.

Obando, M. (2010). Caracterización de bacterias diazotróficas asimbióticas asociadas al eucalipto (*Eucalyptussp.*) En Codazzi, Cesar (Colombia). *Acta Biologica Colombiana*, 15.

Olivares, J. (2008). Fijación biológica de Nitrógeno. *EEZ*, 12.Recuperado de <https://www2.eez.csic.es/olivares/ciencia/fijacion/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2002). Pducción de cereales a nivel Mundial: trigo, cebada cervera y arroz. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>

Palmero, H., Bigatton, D., Lucini, E., Davidenco, V. y Díaz, M. (2020). Modificaciones en el crecimiento temprano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en presencia de

Azospirillum brasilense y de Pseudomonas Psychrophila, *AGRISCIENTIA*, 37: 53-62

P, L., Moreno, y Galvis. (Octubre de 2013). Potencial biofertilizante de bacterias diazótrofias aisladas de muestras de suelo rizosférico. *Pastos y Forrajes*, 16(1). Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942013000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000100003)

Pèrez, A., Ramìrez, M., y Francos, M. (2014). Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de bacterias simbiòticas fijadores de nitrògeno en la elaboraci3n de inoculantes biol3gicos para arveja (*Pisum sativum*) y soya. *Revista Colombiana Biotecnologia* 56(2), 45-56. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77632757006>

Plana, E., Medina, A., Moreno., L y Ramìrez, A. (2016). Efecto agron3mico de la biofertilizaci3n con dos rizobacterias en la producci3n de trigo (*Triticum aestivum* L). En Cuba, *Cultivos tropicales* (20)4: 5-8.

Prévost, D., Bécquer ,Granados , C. J., Juge , C., Gauvin, C., y Delaney, S. (2012). El efecto de la inoculaci3n con bacterias rizosféricas de dos variedades de trigo. Fase 1: condiciones controladas. *SciELO*, 973-984.

Piscoya E. y Ugaz Z. (2016). *Efecto de Azospirillum, Azotobacter y Enterobacter spp. nativas con 50% de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de Zea mays L. "maíz" amarillo duro en Lambayeque, 2013* (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. Lambayeque – Perú.

Ramìrez. (2011). El cultivo de trigo, algunos resultados de sus produccion en Cuba. *Redalyc*, 55-67.

Ranal, M. y Santana. D. (2006). C3mo y ¿Por qu3 medir el proceso de germinaci3n?. *Rev. Brasileña. Larva del moscard3n*. 29: 1-11.

Rangel, L.,y Rodrìguez, J. (2011). Afinidad y efecto de *Azospirillum* sp. en maìz. *Agronomía Mesoamericana*, 269-279.

- Rangel, L., José, A., Ramirez, R., Cervántes, F., Mendoza, M., García, E., y Rivera, G. (2014). Biofertilización de *Azospirillum* spp. y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. *SECIELO*, 231-238.
- Riquelme, J. (2004). Sistemas de preparación de suelo para el establecimiento del trigo. En *Boetín de trigo* (págs. 27-47). Chillán.
- Reyes, A. (2011). *Aislamiento e Identificación de cepas de Azospirillum sp. Y evaluación de sus capacidades para suplir las necesidades de Nitrógeno en el cultivo de maíz y trigo con dos sustratos diferentes bajo invernadero*. Quito (Tesis de pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Rodríguez, A., Robles, A., Ruiz, A., López, E., Sedeño, E. y Rodríguez, A. (2014). Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(3), 307-316. Recuperado en 12 de febrero de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992014000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300007&lng=es&tlng=es).
- Rubiños, C. (2017). *Efecto de dos momentos de inoculación de Azospirillum spp. Nativas en el desarrollo vegetativo de Zea mays l. en condiciones de invernadero* (Tesis de postgrado), Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo".
- Rueda, E., Duarte, M., Del Toro, C., Murillo, B., Ortega, J., Rangel, P., Hernández, G., Borboa, J. y Wong, F. (2017). Efecto de la inoculación de *Rhodococcus Fascians* y *Azospirillum Halopraeferens* en la germinación de palo fierro (*Olnya tesota a. gray*) en condiciones de invernadero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20 (1) 11-18.
- Salgado, M.(2019).*Efecto de la biofertilización con Azospirillum brasilense y nitrógeno de síntesis química sobre la cantidad y calidad de materia seca de Lolium multiflorum lam.* "(Tesis de pregrado).Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Ecuador,
- Sánchez, B., Carreño, M. y Mendoza, G. (2010). Polihidroxicanoatos de cepas de *Azospirillum* spp. aisladas de raíces de *Lycopersicon esculentum* Mill. "Tomate" y *Oryza sativa* L. "arroz" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 1 (3-4), 213-



224. Fecha de Consulta 17 de Enero de 2021]. ISSN: 2077-9917. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3576/357633696005>

Sangoquiza, C. A., Yáñez , F., y Borges, M. (2019). Respuesta de la absorción de nitrógeno y fósforo de una variedad de maíz al inocular *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens*. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías*, 11(1).  
<https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.943>

Schmidt, A., (2020). Efecto de la residualidad de *Azospirillum brasilense* sobre los distintos parámetros de rendimiento en el cultivo de trigo. (Tesis de pregrado).  
Universidad Nacional del Sur. Departamento de Agronomía, Colombia.

Torres, L., Gallegos, P., y Castillo, C. (20 de Noviembre de 2013). Manejo del gusano blanco-Centro Internacional de la Papa (CIP), Quito, Ecuador. Recuperado de [cipotato.org](https://cipotato.org): <https://cipotato.org/es/region-quito-2/manejo-de-gusano-blanco-3/>

Torriente , D. (2010). Aplicación de Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal en el cultivo de caña de azúcar . *SCIELO*, 19-26 .


Vallejos, P. (2019). *Estudio de la producción y comercialización de trigo (triticum vulgare) en la provincia de Imbabura*”. (Tesis de pregrado), Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Villa, L. (2014). Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 33-38.

West Analítica y Servicios (2018).El cultivo de trigo. Agricultura razonada. Guadalajara, México. Recuperado de <https://westanalitica.com.mx/wp-content/uploads/2018/05/El-Cultivo-de-TRIGO.pdf>

Zulay, A., Madiedo, N., y Moreno, L. Y. (2016). Cuantificación de bacterias diazótrofes aisladas de suelos cacaoteros (*Theobroma cacao* L.) por la técnica del número más probable (NMP). *Colombiana Biotecnología*,18(2), 40-60.  
doi:10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.47678

## Anexo 1. Resultado del análisis químico del suelo del área de estudio para el cultivo de trigo



**agrAR PROJEKT**  
Consultancy &  
Laboratory Services

**Agrarprojekt S.A.**  
Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito  
Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148  
agrarprojekt@cablemodem.com.ec  
info@agrarprojekt.com  
www.agrarprojekt.com

**INFORME: ANÁLISIS DE SUELO**

PT0901\_REV01
Pág 1/2

<b>Código Agrarprojekt:</b>	UTN-291019	<b>Informe de Ensayo N°</b>	1145
<b>Fecha de recepción:</b>	29-10-19	<b>Fecha de Informe:</b>	15-11-19

DATOS DEL CLIENTE

<b>Cliente:</b>	Edison Humberto Cevallos Mejía		
<b>Solicitado por:</b>	Edison Humberto Cevallos Mejía		
<b>Ubicación:</b>	Ibarra	<b>Teléfono:</b>	098 8076787

PROCESO DE ANÁLISIS

Método utilizado para la preparación de la muestra y elaboración de extractos:  
Secado → Tamizar para excluir partículas mayores y desmenuzar terrones → Mezcla homogénea  
pH: en H<sub>2</sub>O y KCl, Método Volumen 1:2  
C.E.: Método Volumen 1:2 (extracto en H<sub>2</sub>O)  
NH<sub>4</sub>, K, Ca y Mg: Extracción con NaCl 0.05 M  
Fe, Mn, Zn y Cu: Extracción con DTPA / CaCl<sub>2</sub>  
P: Extracción con NaHCO<sub>3</sub> 0,5 M (Método Olsen)  
NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Na, Cl y B: Extracto Agua

MÉTODOS DE REFERENCIA UTILIZADOS

PARÁMETROS	MÉTODO
pH	EPA 9045 D
Conductividad (C.E.)	SM 2510 B
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	ISO 7890-1
Amonio (NH <sub>4</sub> )	SM 4500-NH <sub>4</sub> D
Fosfato (PO <sub>4</sub> )	SM 4500-P C
Potasio (K)	SM 3500-K B
Magnesio (Mg)	EPA 7000 B
Calcio (Ca)	EPA 7000 B
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	SM 4500-SO <sub>4</sub> E
Sodio (Na)	SM 3500-Na B
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	SM 4500-Cl G
Hierro (Fe)	EPA 7000 B
Manganeso (Mn)	EPA 7000 B
Cobre (Cu)	EPA 7000 B
Zinc (Zn)	EPA 7000 B
Boro (B)	EPA 7000 B
Molibdeno (Mo)	EPA 7010
Silicio (Si)	EPA 7010
Aluminio (Al)	EPA 7010
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> )	SM 2320 B
Materia Orgánica	AOAC 967 05 / DIN 19684-3
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	EPA 9081
% Saturación de Bases	EPA 9081
Fracción de Partículas	ISO 11277

## Anexo 2.Resultado del análisis foliar del cultivo de trigo



**Agrarprojekt S.A.**  
 Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito  
 Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148  
 agrarprojekt@cablemodem.com.ec  
 info@agrarprojekt.com  
 www.agrarprojekt.com

### RESULTADOS

Código Agrarprojekt: UTN-280220

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS					
Tipo de Muestra:	Hojas				
Cultivo:	Trigo				
Número de Muestra:	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
Información Proporcionada por el Cliente:	T1 BD 25%	T2 BD 50%	T3 BD 75%	T4 N 100%	T5 BD 100%

Contenido de Nitrógeno en Materia Seca (macroelementos en %)

Análisis	Unidades	*Rango de Valores considerado como "Normal" para Hojas de Trigo	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Nitrógeno Total (N)	%	2.00 - 3.00	4.83	4.80	4.38	4.44	4.54

\* Fuente: G. Bryson. 2014. Plant Analysis Handbook III. 571 pp.

\* Todo el follaje, en la aparición de la inflorescencia

- = No Aplica

**Nota:**

- Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.
- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de Los resultados. No procede copia.

Anexo 3. Costos de producción por parcela y por hectárea de los tratamientos 1, 2 y 3 del cultivo de trigo (*Triticum aestivum*).

RUBRO	Unidad	BD+25% N			BD+50% N			BD+75% N		
		Cantidad 1Ha	Valor unitario USD.	Total USD /1Ha	Cantidad 1Ha	Valor unitario USD.	Total USD /1Ha	Cantidad 1Ha	Valor unitario USD.	Total USD /1Ha
<b>A. COSTOS DIRECTOS</b>										
<b>1. Preparación del suelo</b>										
Análisis de suelos	unidad	1,00	12,09	12,09	1,00	12,09	12,09	1,00	12,09	12,09
Arado	horas	3,00	20,00	60,00	3,00	20,00	60,00	3,00	20,00	60,00
Rastra	horas	2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00
Surcado	jornal	1,00	15,00	15,00	1,00	15,00	15,00	1,00	15,00	15,00
<b>2. Mano de obra</b>										
Siembra	jornal	3,00	15,00	45,00	3,00	15,00	45,00	3,00	15,00	45,00
Fertilización	jornal	4,00	15,00	60,00	4,00	15,00	60,00	4,00	15,00	60,00
Aplicación de insecticidas	jornal	2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00
Limpieza de malezas	jornal	2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00
Cosecha (máquina)	unidad	1,00	120,00	120,00	1,00	120,00	120,00	1,00	120,00	120,00
<b>3. Insumos</b>										
Semilla	kg	120,00	0,90	108,00	120,00	0,90	108,00	120,00	0,90	108,00
Costales	unidades	1000,00	0,20	200,00	1000,00	0,20	200,00	1000,00	0,20	200,00
Bacterias Diazotrofas	Litros	3,00	45,00	135,00	3,00	45,00	135,00	3,00	45,00	135,00
Fertilizante Químico	kg	45,00	1,00	45,00	90,00	1,00	90,00	135,00	1,00	135,00
<b>4. Insecticidas y fungicidas</b>										
	Litros	11,00	9,73	107,03	11,00	9,73	107,03	11,00	9,73	107,03
<b>5. sistema de riego</b>										
	unidad	1,00	319,19	319,19	1,00	319,19	319,19	1,00	319,19	319,19
<b>6. Comercialización</b>										
Transporte	unidad	1,00	30,00	30,00	1,00	30,00	30,00	1,00	30,00	30,00
<b>b. COSTOS INDIRECTOS</b>										
Bomba de mochila 20 L	unidad	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00
Arriendo de terreno	unidad	1,00	100,00	100,00	1,00	100,00	100,00	1,00	100,00	100,00
Análisis foliar	unidad	1,00	30,00	30,00	1,00	30,00	30,00	1,00	30,00	30,00
		<b>SUBTOTAL</b>		1479,31	<b>SUBTOTAL</b>		1524,31	<b>SUBTOTAL</b>		1569,31
		<b>Imprevisto 10%</b>		147,93	<b>Imprevisto 10%</b>		152,43	<b>Imprevisto 10%</b>		156,93
		<b>TOTAL</b>		1627,24	<b>TOTAL</b>		1676,74	<b>TOTAL</b>		1726,24

**Anexo 4.** Costos de producción por parcela y por hectárea de los tratamientos 4 y 5 del cultivo de trigo (*Triticum aestivum*)

100% N			100% BD		
Cantidad 1Ha	Valor unitario USD.	Total USD /1Ha	Cantidad 1Ha	Valor unitario USD.	Total USD /1Ha
1,00	12,09	12,09	1,00	12,09	12,09
3,00	20,00	60,00	3,00	20,00	60,00
2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00
1,00	15,00	15,00	1,00	15,00	15,00
3,00	15,00	45,00	3,00	15,00	45,00
4,00	15,00	60,00	4,00	15,00	60,00
2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00
2,00	15,00	30,00	2,00	15,00	30,00
1,00	120,00	120,00	1,00	120,00	120,00
				-	
120,00	0,90	108,00	120,00	0,90	108,00
1000,00	0,20	200,00	1000,00	0,20	200,00
0,00	0,00	0,00	3,00	45,00	135,00
180,00	1,00	180,00	0,00	0,00	0,00
11,00	9,73	107,03	11,00	9,73	107,03
1,00	319,19	319,19	1,00	319,19	319,19
				-	
1,00	1,00	1,00	1,00	30,00	30,00
1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00
1,00	100,00	100,00	1,00	100,00	100,00
1,00	30,00	30,00	1,00	30,00	30,00
<b>SUBTOTAL</b>		1450,31	<b>SUBTOTAL</b>	.	1434,31
<b>Imprevistos 10</b>		145,03	<b>previstos 10</b>	.	143,43
<b>TOTAL</b>		1595,34	<b>Total</b>	.	1577,74