



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN**  
**ALIMENTOS**

TEMA:

---

**"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CUATRO  
MÉTODOS DE INOCULACIÓN DE DOS CEPAS DE  
*Azospirillum* spp., EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*  
L.), VARIEDADES INIAP 122 Y 102, EN LAS  
PROVINCIAS DE IMBABURA Y PICHINCHA"**

---

Trabajo de graduación, modalidad Sistema Tutorial, presentado como  
requisito previo a la obtención del Título de Ingeniera en Bioquímica,  
otorgado por la Universidad Técnica de Ambato a través de la  
Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos

**GABRIELA MONSERRATH ORTÍZ BUSTOS**

Ambato – Ecuador

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema:

"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CUATRO MÉTODOS DE INOCULACIÓN DE DOS CEPAS DE *Azospirillum* spp., EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.), VARIEDADES INIAP 122 Y 102, EN LAS PROVINCIAS DE IMBABURA Y PICHINCHA", por Gabriela Monserrath Ortiz Bustos, egresada de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, certifico que el trabajo fue realizado por la persona indicada y considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Directivo designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Ambato, Diciembre del 2010

EL TUTOR

.....

**Dr. Ramiro Velasteguí Ph. D.**

## **AUTORIA**

El presente Trabajo de Investigación "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CUATRO MÉTODOS DE INOCULACIÓN DE DOS CEPAS DE *Azospirillum* spp., EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.), VARIEDADES INIAP 122 Y 102, EN LAS PROVINCIAS DE IMBABURA Y PICHINCHA" es absolutamente original, auténtico y personal; en tal virtud el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Ambato, Diciembre del 2010

.....

**Gabriela Monserrath Ortíz Bustos**

**CI. 180411165 - 4**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR**

Los miembros del Tribunal Calificador, de conformidad con las disposiciones reglamentarias vigentes en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, aprueban el presente Trabajo de Investigación bajo el tema "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CUATRO MÉTODOS DE INOCULACIÓN DE DOS CEPAS DE *Azospirillum* spp., EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.), VARIEDADES INIAP 122 y 102, EN LAS PROVINCIAS DE IMBABURA Y PICHINCHA"

Ambato, Diciembre del 2010

Para constancia firman:

.....

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Rommel Rivera

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Gladys Navas

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Mayra Paredes

2010

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este trabajo a mi madre Martha Bustos como muestra de amor y agradecimiento por toda la comprensión, apoyo y sobre todo, por los valores que me ha enseñado y que han sabido guiar mi vida por el sendero de la verdad y la justicia a fin de engrandecer a mi Patria y honrar a mi familia. Doy gracias a Dios por haberme brindado el fruto de su esfuerzo y porque hoy pude culminar una de mis metas.*

**Gabriela Monserrath Ortiz Bustos**

## **AGRADECIMIENTO**

Dejo constancia de mi agradecimiento:

Primeramente a Dios por haberme dado salud, sabiduría y coraje durante toda mi vida estudiantil.

Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, carrera de Ingeniería Bioquímica, por su formación y preparación académica; particularmente al Dr. Ramiro Velasteguí, Tutor del Trabajo de Investigación, por su aporte y sugerencias.

Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP, en especial al Programa de Maíz, por la oportunidad y confianza brindada, de manera especial al Ing. Francisco Clavijo, Técnico Investigador del Proyecto, por sus conocimientos, recomendaciones y acertadas opiniones, pero sobre todo por ser la guía principal y apoyo constante en la ejecución del Trabajo de Investigación.

Un profundo agradecimiento a los Agrs. Jorge Heredia y Julio Benítez, técnicos del Programa de Maíz y del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas respectivamente, por su amistad, colaboración y ayuda desinteresada.

Colegio Técnico Fernando Cháves del cantón Otavalo, en la provincia de Imbabura, especialmente al Agr. Manuel Ruiz por su colaboración, así como también a los estudiantes de esta prestigiosa Institución.

Mis amigos y compañeros Alex Cool y Cristian Michilena por su ayuda oportuna y enseñanzas.

Mis amigas Anita Velasteguí, Mónica Aldás, Daniela Mencias, Laura Vega, Mayra Cathme, Gabriela Salguero, Anita Martínez por sus palabras de aliento y por todos los momentos compartidos.

# ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

## PÁGINAS PRELIMINARES

Tema.....	i
Aprobación del Tutor.....	ii
Autoría.....	iii
Aprobación del Tribunal de Grado.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General de Contenidos.....	vii
Índice de Tablas.....	xiv
Índice de Figuras.....	xxii
Resumen.....	xxvii

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA

1.1 TEMA.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO.....	3
1.2.2.1 Árbol de Problema.....	5
1.2.3 PROGNOSIS.....	5
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6

1.2.5	INTERROGANTES.....	6
1.2.6	DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN. ....	7
1.2.6.1	Geográfica y Temporal. ....	7
1.3	JUSTIFICACIÓN. ....	7
1.4	OBJETIVOS. ....	9
1.4.1	GENERAL:.....	9
1.4.2	ESPECÍFICOS:.....	9

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS. ....	10
2.1.1	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO CIENTÍFICA. ....	12
2.1.1.1	AGRICULTURA SUSTENTABLE. ....	12
2.1.1.2	INOCULANTES MICROBIANOS.....	13
2.1.1.3	BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL: <i>Azospirillum</i> .....	15
2.1.1.4	MÉTODOS DE INOCULACIÓN. ....	25
2.1.1.5	MAÍZ. ....	27
2.1.1.6	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....	28
2.1.1.7	DESARROLLO VEGETATIVO Y REPRODUCCIÓN.....	29
2.1.1.8	VARIETADES DE SEMILLA DE MAÍZ. ....	30
2.2	FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA. ....	34
2.3	FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	35

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES. ....	35
2.4.1 GRÁFICOS DE INCLUSIÓN INTERRELACIONADOS.....	35
2.5 HIPÓTESIS.....	36
2.5.1 HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ ).....	36
2.5.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA ( $H_i$ ).....	36
2.6 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LAS HIPÓTESIS. ....	36
2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	36
2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	36

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN. ....	37
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	37
3.3.1 UNIDAD EXPERIMENTAL.....	38
3.3.2 FACTORES.....	38
3.3.3 TRATAMIENTOS.....	39
3.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	40
3.3.5 ANÁLISIS FUNCIONAL.....	41
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	42
3.4.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE .....	42

3.4.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....	43
3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN. ....	44
3.5.1 METODOLOGÍA.....	44
3.5.1.1 Preparación del Terreno. ....	44
3.5.1.2 Siembra. ....	45
3.5.1.3 Aplicación de métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.....	46
3.5.1.4 Fertilización.....	47
3.5.1.5 Labores culturales. ....	48
3.5.1.6 Riego. ....	48
3.5.1.7 Control de malezas.....	49
3.5.1.8 Control de plagas.....	49
3.5.1.9 Cosecha. ....	49
3.5.2 VARIABLES DE EVALUACIÓN. ....	50
3.5.2.1 Población inicial y final de microorganismos en muestra de suelo. ...	50
3.5.2.2 Población inicial y final de <i>Azospirillum</i> spp. en muestra de suelo ....	50
3.5.2.3 Porcentaje de emergencia.....	53
3.5.2.4 Altura de la planta. ....	53
3.5.2.5 Altura de inserción de la mazorca en la planta. ....	53
3.5.2.6 Daño a la mazorca por el gusano de la mazorca ( <i>Heliothis zea</i> ). ....	53
3.5.2.7 Daño a la mazorca por hongos ( <i>Fusarium moniliforme</i> ). ....	54
3.5.2.8 Diámetro de la mazorca. ....	55
3.5.2.9 Longitud de la mazorca.....	55
3.5.2.10 Rendimiento en choclo.....	55

3.5.2.11 Análisis de nitrógeno en suelo. ....	56
3.5.2.12 Análisis de nitrógeno en planta. ....	56
3.5.2.13 Análisis de Presupuesto Parcial y Tasa de Retorno Marginal.....	56
3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN. ....	57

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	58
4.1.1 POBLACIÓN DE MICROORGANISMOS EN MUESTRA DE SUELO (ACTINOMICETES, HONGOS, BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO Y DEGRADADORAS DE CELULOSA). ....	58
4.1.2 POBLACIÓN DE <i>Azospirillum</i> spp. EN MUESTRA DE SUELO. ....	74
4.1.3 PORCENTAJE DE EMERGENCIA.....	84
4.1.4 ALTURA DE PLANTA. ....	89
4.1.5 ALTURA DE INSERCIÓN DE MAZORCA EN LA PLANTA.....	96
4.1.6 DAÑO A LA MAZORCA POR EL GUSANO DE LA MAZORCA ( <i>Heliothis zea</i> ).....	104
4.1.7 DAÑO A LA MAZORCA POR HONGOS ( <i>Fusarium moniliforme</i> ). ....	108
4.1.8 DIÁMETRO DE MAZORCA.....	112
4.1.9 LONGITUD DE MAZORCA. ....	118
4.1.9 NITRÓGENO EN SUELO.....	121
4.1.10 NITRÓGENO EN PLANTA.....	127

4.1.11 RENDIMIENTO EN CHOCLO.....	131
4.1.12 PRESUPUESTO PARCIAL Y TASA DE RETORNO MARGINAL..	136
4.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	142
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1 CONCLUSIONES.....	145
5.1 RECOMENDACIONES.....	147
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>PROPUESTA</b>	
6.1 DATOS INFORMATIVOS.....	148
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	149
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	150
6.4 OBJETIVOS.....	150
6.4.1 GENERAL:.....	150
6.4.2 ESPECÍFICOS:.....	150
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	151
6.6 FUNDAMENTACIÓN.....	151
6.1.1 MÉTODOS DE INOCULACIÓN DE <i>Azospirillum</i> spp.....	151
6.7 METODOLOGÍA.....	153
6.8 ADMINISTRACIÓN.....	154

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN..... 155

**MATERIALES DE REFERENCIA**

BIBLIOGRAFÍA.....157

**ANEXOS**

**ANEXO A: REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELOS**

**ANEXO B: PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS**

**ANEXO C:: FIGURAS DE METODOLOGÍA**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Países que presentan la mayor producción de maíz. Ciclo 2009/2010 ....	1
<b>Tabla 2.</b> Biofertilizantes microbianos vs Fertilizantes químicos .....	14
<b>Tabla 3.</b> Funciones de las principales hormonas de crecimiento sintetizadas por <i>Azospirillum</i> . .....	24
<b>Tabla 4.</b> Información técnica de las variedades INIAP 102 y 122.....	32
Efectos en las variedades de maíz INIAP 102 y 122 .....	35
<b>Tabla 5.</b> Señalamiento de las variables de la hipótesis. ....	36
<b>Tabla 6.</b> Factor A: Métodos de inoculación de cepas de <i>Azospirillum</i> spp.....	38
<b>Tabla 7.</b> Factor B: Cepas de <i>Azospirillum</i> spp. ....	39
<b>Tabla 8.</b> Tratamientos en estudio. ....	39
<b>Tabla 9.</b> Esquema de ADEVA. ....	41
<b>Tabla 10.</b> Operacionalización de la Variable Independiente: Métodos de inoculación de cepas de <i>Azospirillum</i> spp.....	42
<b>Elaborado por:</b> Gabriela Ortíz .....	42
<b>Tabla 11.</b> Operacionalización de la Variable Dependiente: Efectos en las variedades INIAP 122 y 102. ....	43
<b>Tabla 12.</b> Ubicación política y geográfica de los sitios experimentales. ....	44
<b>Tabla 13.</b> Características climáticas de los sitios experimentales. ....	44
<b>Tabla 14.</b> Tabla de Mc Crady: 3 tubos por dilución.....	52
<b>Tabla 15.</b> Escala de daño a la mazorca por plagas. ....	53
<b>Tabla 16.</b> Escala de daño a la mazorca por hongos.....	54
<b>Tabla 17.</b> Clasificación del choclo por su tamaño. ....	55
<b>Tabla 18.</b> Comparación entre la población inicial y población final de microorganismos en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010.....	60
<b>Tabla 19.</b> Población inicial y población final de microorganismos en el suelo de Quinchuquí - Imbabura. 2010. ....	61

<b>Tabla 20.</b> Análisis de Varianza para población final de microorganismos en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña – Pichincha, 2010.	63
<b>Tabla 21.</b> Análisis de Varianza para población final de microorganismos en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp. en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010. .....	64
<b>Tabla 22.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para población final de microorganismos y Tukey al 5% para las variables con significancia estadística. Amaguaña - Pichincha, 2010. ....	66
<b>Tabla 23.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para población final de microorganismos y Tukey al 5% para las variables con significancia estadística. Quinchuquí - Imbabura, 2010. ....	66
<b>Tabla 24.</b> Promedios del factor B (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para población final de microorganismos y DMS al 5% para las variables con significancia estadística. Amaguaña - Pichincha, 2010. ....	67
<b>Tabla 25.</b> Promedios del factor B (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para población final de microorganismos y DMS al 5% para las variables con significancia estadística. Quinchuquí - Imbabura, 2010. ....	68
<b>Tabla 26.</b> Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) x (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para población final de microorganismos y Tukey al 5% para las variables con significación estadística. Amaguaña - Pichincha, 2010. ....	69
<b>Tabla 27.</b> Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) x (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para población final de microorganismos y Tukey al 5% para las variables con significación estadística. Quinchuquí - Imbabura, 2010. ....	70
<b>Tabla 28.</b> Comparación entre la población inicial y final de <i>Azospirillum</i> spp. en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010 .....	76

<b>Tabla 29.</b> Comparación entre la población inicial y final de <i>Azospirillum</i> spp. en el suelo de Quinchuquí - Imbabura. 2010 .....	76
<b>Tabla 30.</b> Análisis de Varianza para población final de <i>Azospirillum</i> spp. en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña – Pichincha, 2010. 78	
<b>Tabla 31.</b> Análisis de Varianza para población final de <i>Azospirillum</i> spp. en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010. 79	
<b>Tabla 32.</b> Promedios del factor A para población final de <i>Azospirillum</i> spp. y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	80
<b>Tabla 33.</b> Promedios del factor B para población de <i>Azospirillum</i> spp. y DMS al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	80
<b>Tabla 34.</b> Promedios del factor B para población de <i>Azospirillum</i> spp. y DMS al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.....	81
<b>Tabla 35.</b> Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) x (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para población de <i>Azospirillum</i> spp. y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010. ....	82
<b>Tabla 36.</b> Análisis de Varianza para porcentaje de emergencia en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.....	85
<b>Tabla 37.</b> Análisis de Varianza para porcentaje de emergencia en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.....	86
<b>Tabla 38.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para porcentaje de emergencia y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	87

<b>Tabla 39.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para porcentaje de emergencia y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010....	87
<b>Tabla 40.</b> Promedios del factor B (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para porcentaje de emergencia y DMS al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.....	88
<b>Tabla 41.</b> Análisis de Varianza para altura de planta en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.....	90
<b>Tabla 42.</b> Análisis de Varianza para altura de planta en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.....	91
<b>Tabla 43.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para altura de planta y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010. ....	92
<b>Tabla 44.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para altura de planta y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010. ....	92
<b>Tabla 45.</b> Promedios del factor B (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para altura de planta y DMS al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	93
<b>Tabla 46.</b> Promedios del factor B (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para altura de planta y DMS al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010. ....	93
<b>Tabla 47.</b> Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) x (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para altura de planta y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	94
<b>Tabla 48.</b> Análisis de Varianza para altura de inserción de mazorca en planta, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.	97
<b>Tabla 49.</b> Análisis de Varianza para altura de inserción de mazorca en planta, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de	

*Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Quinchuquí - Imbabura, 2010. 98

**Tabla 50.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010. .... 99

**Tabla 51.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010. .... 99

**Tabla 52.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y DMS al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.... 100

**Tabla 53.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y DMS al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010... 100

**Tabla 54.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010..... 101

**Tabla 55.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010..... 102

**Tabla 56.** Análisis de Varianza para daño a la mazorca por *Heliothis zea*, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Amaguaña - Pichincha, 2010. .... 105

**Tabla 57.** Análisis de Varianza para daño a la mazorca por *Heliothis zea*, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Quinchuquí - Imbabura, 2010. .... 106

**Tabla 58.** Análisis de Varianza para daño a la mazorca por *Fusarium moniliforme*, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP

122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	109
<b>Tabla 59.</b> Análisis de Varianza para daño a la mazorca por <i>Fusarium moniliforme</i> , en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Quinchuquí - Imbabura, 2010.....	110
<b>Tabla 60.</b> Análisis de Varianza para diámetro de mazorca, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	113
<b>Tabla 61.</b> Análisis de Varianza para diámetro de mazorca, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Quinchuquí - Imbabura, 2010.....	114
<b>Tabla 62.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para diámetro de mazorca y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010. ....	115
<b>Tabla 63.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para diámetro de mazorca y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010. ....	115
<b>Tabla 64.</b> Promedios del factor B (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para diámetro de mazorca y DMS al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	116
<b>Tabla 65.</b> Análisis de Varianza para longitud de mazorca, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	118
<b>Tabla 66.</b> Análisis de Varianza para longitud de mazorca, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. Quinchuquí - Imbabura, 2010.....	119
<b>Tabla 67.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para longitud de mazorca y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010. ....	120

<b>Tabla 68.</b> Análisis de Varianza para porcentaje de nitrógeno total en suelo, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010. .....	122
<b>Tabla 69.</b> Análisis de Varianza para porcentaje de nitrógeno total en suelo, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010. .....	123
<b>Tabla 70.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para porcentaje de nitrógeno total en suelo y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	124
<b>Tabla 71.</b> Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) x (cepas de <i>Azospirillum</i> spp.) para porcentaje de nitrógeno total en suelo y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	125
<b>Tabla 72.</b> Análisis de Varianza para porcentaje de nitrógeno total en planta, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010. .....	128
<b>Tabla 73.</b> Análisis de Varianza para porcentaje de nitrógeno total en planta, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010. .....	129
<b>Tabla 74.</b> Análisis de Varianza para rendimiento, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.....	132

<b>Tabla 75.</b> Análisis de Varianza para rendimiento, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de <i>Azospirillum</i> spp., en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.....	133
<b>Tabla 76.</b> Promedios del factor A (métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp.) para rendimiento y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.....	134
<b>Tabla 77.</b> Total de costos que varían en la producción de las variedades de maíz INIAP 102 y 122 con la aplicación de las metodologías de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp. en las provincias de Amaguaña y Quinchuquí. 2010.....	137
<b>Tabla 78.</b> Presupuesto Parcial de la producción de la variedad de maíz INIAP 102 con la aplicación de las metodologías de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp. Amaguaña - Pichincha. 2010. ....	138
<b>Tabla 79.</b> Presupuesto Parcial de la producción de la variedad de maíz INIAP 122 con la aplicación de las metodologías de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp. Quinchuquí - Imbabura. 2010. ....	139
<b>Tabla 80.</b> Dominancia de los tratamientos en estudio. Amaguaña – Pichincha. 2010.....	140
<b>Tabla 81.</b> Dominancia de los tratamientos en estudio. Quinchuquí –Imbabura. 2010.....	141
<b>Tabla 82.</b> Tasa de Retorno Marginal de los tratamientos en estudio. Amaguaña – Pichincha. 2010 .....	142
<b>Tabla 83.</b> Tasa de Retorno Marginal de los tratamientos en estudio. Quinchuquí - Imbabura. 2010 .....	142
<b>Tabla 84.</b> Valores económicos de la propuesta. ....	151
<b>Tabla 85.</b> Tabla Resumen de las metodologías de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp. ....	152
<b>Tabla 86.</b> Modelo Operativo (Plan de Acción) .....	153
<b>Tabla 87.</b> Administración de la propuesta.....	154
<b>Tabla 88.</b> Previsión de la evaluación de la investigación propuesta. ....	155

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Precio internacional del maíz. ....	2
<b>Figura 2.</b> Exportaciones mundiales de maíz. ....	2
<b>Figura 3.</b> Importadores mundiales de maíz.....	2
<b>Figura 4.</b> Árbol de Problema (Relación causa – efecto). ....	5
<b>Figura 5.</b> Gráficos de inclusión interrelacionados. ....	35
<b>Figura 6.</b> Dimensionamiento de los ensayos en Pichincha e Imbabura. ....	40
<b>Figura 8.</b> Bacterias solubilizadoras de fósforo en medio Ramos Callao. Dilución 1x 10 <sup>4</sup> . Quinchuquí - Imbabura. 2010. ....	59
<b>Figura 7.</b> Actinomicetes en medio Agar Caseína. Dilución 1x10 <sup>6</sup> .....	59
Quinchuquí - Imbabura. 2010. ....	59
<b>Figura 10.</b> Degradadores de celulosa en medio Extracto Suelo. Dilución 1x 10 <sup>5</sup> . Quinchuquí – Imbabura. 2010.....	59
<b>Figura 9.</b> Hongos en medio Rosa de Bengala. Dilución 1x10 <sup>2</sup> .....	59
Quinchuquí – Imbabura. 2010.....	59
<b>Figura 10.</b> Comparación entre la población inicial y final de microorganismos en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010 .....	60
<b>Figura 11.</b> Comparación entre la población inicial y final de microorganismos en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010 .....	61
En las Figuras 12 y 13 se observan los promedios de los tratamientos. ....	71
<b>Figura 12.</b> Histograma de la población de microorganismos en el suelo de Amaguaña al final del ciclo de cultivo de la variedad INIAP 102. Pichincha. 2010. ....	72
<b>Figura 13.</b> Histograma de la población de microorganismos en el suelo de Quinchuquí al final del ciclo de cultivo de la variedad INIAP 122. Imbabura. 2010.....	72
<b>Figura 14.</b> <i>Azospirillum</i> spp. en NFB. Dilución 1x10 <sup>1</sup> . ....	74
Quinchuquí –Imbabura. 2010.....	74

<b>Figura 15.</b> <i>Azospirillum</i> spp. en NFB. Dilución $1 \times 10^5$ .....	74
Quinchuquí –Imbabura. 2010.....	74
<b>Figura 16.</b> <i>Azospirillum</i> spp. en Ácido Málico Rojo Congo. Dilución $1 \times 10^5$ . Quinchuquí – Imbabura. 2010.....	74
<b>Figura 17.</b> <i>Azospirillum</i> spp. Gram negativa. 100 X.....	75
Amaguaña – Pichincha. 2010.....	75
<b>Figura 18.</b> Reacción de la enzima catalasa en <i>Azospirillum</i> spp.....	75
Amaguaña - Pichincha. 2010 .....	75
<b>Figura 19.</b> Motilidad de <i>Azospirillum</i> spp.....	75
Amaguaña - Pichincha. 2010 .....	75
<b>Figura 20.</b> Histograma de la población inicial y final de microorganismos en el suelo de Amaguaña – Pichincha. 2010 .....	76
<b>Figura 21.</b> Histograma de la población inicial y final de microorganismos en el suelo de Quinchuquí - Imbabura. 2010 .....	77
<b>Figura 22.</b> Histograma de la población final de <i>Azospirillum</i> spp. en el suelo de Amaguaña – Pichincha. 2010.....	83
<b>Figura 23.</b> Histograma de la población final de <i>Azospirillum</i> spp. en el suelo de Quinchuquí. 2010.....	83
<b>Figura 24.</b> Histograma del porcentaje de germinación de la variedad INIAP 102. Amaguaña – Pichincha.2010.....	88
<b>Figura 25.</b> Histograma del porcentaje de germinación de la variedad INIAP 122. Quinchuquí – Imbabura.2010.....	89
<b>Figura 26.</b> Histograma de la altura de la planta de maíz, de la variedad INIAP 102. Amaguaña – Pichincha.2010.....	95
<b>Figura 27.</b> Histograma de la altura de la planta de maíz, de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura.2010. ....	95
<b>Figura 28.</b> Histograma de la altura de mazorca en la planta de maíz, de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.....	103

<b>Figura 29.</b> Histograma de la altura de mazorca en la planta de maíz, de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura. 2010.....	103
<b>Figura 30.</b> Histograma del porcentaje de daño por <i>Heliothis zea</i> en la mazorca de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.....	107
<b>Figura 31.</b> Histograma del porcentaje de daño por <i>Heliothis zea</i> en la mazorca de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura. 2010.....	107
<b>Figura 32.</b> Histograma del porcentaje de daño por <i>Fusarium moniliforme</i> en la mazorca de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.....	111
<b>Figura 33.</b> Histograma del porcentaje de daño por <i>Fusarium moniliforme</i> en la mazorca de la variedad INIAP 122. Quinchuquí – Imbabura. 2010.....	111
<b>Figura 34.</b> Histograma del diámetro de mazorca de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010. ....	116
<b>Figura 35.</b> Histograma del diámetro de mazorca de la variedad INIAP 122. ....	117
Quinchuquí- Pichincha. 2010.....	117
<b>Figura 36.</b> Histograma de la longitud de mazorca de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010. ....	120
<b>Figura 37.</b> Histograma de la longitud de mazorca de la variedad INIAP 122. Quinchuquí – Imbabura. 2010.....	121
<b>Figura 38.</b> Histograma del porcentaje de nitrógeno en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010.....	126
<b>Figura 39.</b> Histograma del porcentaje de nitrógeno en el suelo de Quinchuquí – Imbabura. 2010. ....	126
<b>Figura 40.</b> Histograma del porcentaje de nitrógeno en plantas de maíz de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.....	130
<b>Figura 41.</b> Histograma del porcentaje de nitrógeno en plantas de maíz de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura. 2010.....	130
<b>Figura 42.</b> Histograma del rendimiento de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.....	134

**Figura 43.** Histograma del rendimiento de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura. 2010. .... 135

## **ANEXO C: FIGURAS DE METODOLOGÍA**

**Figura C1.** Preparación del terreno para la siembra.

**Figura C2.** Inoculante líquido de *Azospirillum* spp. para suelo.

**Figura C3.** Aplicación del método de inoculación líquido al suelo.

**Figura C4.** Inoculante sólido de *Azospirillum* spp. para suelo.

**Figura C5.** Aplicación del método de inoculación sólido al suelo.

**Figura C6.** Inoculante líquido de *Azospirillum* spp. para semilla.

**Figura C7.** Aplicación del método de inoculación líquido a la semilla.

**Figura C8.** Inoculante sólido de *Azospirillum* spp. para semilla.

**Figura C9.** Aplicación del método de inoculación sólido a la semilla.

**Figura C10.** Siembra de semilla de maíz sin inoculante.

**Figura C11.** Aplicación de fertilizante químico nitrogenado al cultivo de maíz.

**Figura C12.** Aporque de las plantas de maíz.

**Figura C13.** Riego por inundación.

**Figura C14.** Deshierba de los ensayos.

**Figura C15.** Control del gusano de la mazorca.

**Figura C16.** Cosecha en estado de choclo.

## **SIGNIFICADO DE PALABRAS CLAVES**

**INIAP:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

**EESC:** Estación Experimental Santa Catalina.

**PGPB:** Plant Growth Promoting Bacteria.

**INIAP 102:** Variedad mejorada de maíz (Blanco Blandito Mejorado) para la serranía del Ecuador. Provincia de Pichincha.

**INIAP 122:** Variedad mejorada de maíz (Chaucho Mejorado) para la serranía del Ecuador. Provincia de Imbabura.

**IBPGR:** International Maize and Wheat.

**DPD:** Diseño de Parcela Dividida.

**DMS:** Diferencia Mínima Significativa.

**NMP:** Número Más Probable de microorganismos.

**CIMMYT:** Centro Internacional de Manejo de Maíz y Trigo.

**GPS:** Global Posicion Sistem.

**NFB:** Nitrogen Fixation Biological

## RESUMEN EJECUTIVO

La productividad del maíz se puede mejorar con la utilización de biofertilizantes para sustituir a los fertilizantes químicos, que tienen consecuencias para el medio ambiente. Actualmente, en la mayoría de cultivos se usan bacterias con la capacidad de promover el crecimiento vegetal y de fijar el nitrógeno atmosférico como *Azospirillum*. Sin embargo, el mecanismo para que la bacteria ejerza su actividad metabólica eficientemente sobre las plantas es una buena interacción planta – microorganismo que se podría lograr con la aplicación de un método de inoculación apropiado.

Con este argumento, se desarrolló la investigación “Evaluación del efecto de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha”. En este estudio, se evaluaron métodos de inoculación líquido y sólido al suelo y a la semilla; de las cepas c2 (*Azospirillum* spp. de Bolívar) y c3 (*Azospirillum* spp. de Chimborazo), con el fin de seleccionar el método de inoculación y la cepa de *Azospirillum* spp. más eficiente en la producción de maíz (*Zea mays* L.). Las variedades de maíz empleadas fueron INIAP 102 en Pichincha e INIAP 122 en Imbabura. En cada provincia, se analizaron 12 tratamientos en total, formados por la combinación del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) y el factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) Se utilizó un Diseño de Parcela Dividida (DPD) con tres repeticiones.

Las variables microbiológicas analizadas fueron población de microorganismos en suelo (actinomicetes, hongos, bacterias solubilizadoras de fósforo y bacterias degradadoras de celulosa y *Azospirillum* spp.). Las variables agronómicas analizadas fueron emergencia de plantas, altura de planta, altura de inserción de mazorca en planta, daño a la mazorca por *Heliothis zea*, daño a la mazorca por *Fusarium moniliforme*, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, nitrógeno en suelo, nitrógeno total en planta, rendimiento en choclo, Presupuesto Parcial y Tasa de Retorno Marginal.

En Amaguaña, el tratamiento c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) incrementó altura de planta, altura de inserción de mazorca en planta y nitrógeno total en suelo, a los siguientes valores 244, 67 cm, 139,67 cm y 0,28%, respectivamente, en relación al testigo, que presentó valores de 204,33 cm en altura de planta, 108 cm en altura de inserción de mazorca en planta y 0,99% de nitrógeno total en suelo. La mayor población de hongos fue  $1,77 \times 10^4$  UFC/gss con c2m1 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido al suelo), mientras que con el testigo fue  $1,62 \times 10^4$  UFC/gss.

En Quinchuquí, la altura de inserción de mazorca en planta se incrementó a 137,33 cm con c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla), en relación al testigo, que incrementó la altura de inserción de mazorca en planta a 101,33 cm. Las mayores poblaciones expresadas en UFC/gss fueron:  $4,36 \times 10^7$  actinomicetes con c4m2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo + método de inoculación sólido al suelo),  $4 \times 10^4$  hongos con c2m1 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido al suelo),  $9,48 \times 10^5$  bacterias degradadoras de celulosa con c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) y  $4,36 \times 10^7$  *Azospirillum* spp. con c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla), mientras que con el testigo se obtuvieron en UFC/gss  $9,16 \times 10^6$  actinomicetes,  $2,43 \times 10^3$  hongos,  $1,59 \times 10^5$  bacterias degradadoras de celulosa y  $2,25 \times 10^6$  *Azospirillum* spp.

La población de *Azospirillum* spp. incrementó en los suelos, esto demuestra la efectividad de la cepa de Bolívar, que pudo infectar y proliferar en el interior del tejido de la raíz para competir por los nutrientes con otros microorganismos de la rizósfera. El método de inoculación a la semilla introdujo una población eficiente de la cepa de Bolívar y permitió que la bacteria este en contacto con la rizósfera donde sucede la mayor interacción planta – microorganismos, existiendo una mejor contribución de sustancias promotoras de crecimiento en la planta de maíz.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 TEMA.

”Evaluación del efecto de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102, en las provincias de Imbabura y Pichincha”.

### 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

#### 1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), globalmente el maíz se cultiva en más de 140 millones de hectáreas [ha], con una producción anual de más de 580 millones de toneladas métricas [Tm]. Según el Centro Internacional de Manejo de Maíz y Trigo (CIMMYT), el rendimiento medio del maíz en los trópicos es de 1 800 kilogramos por hectárea [Kg/ha] y en las zonas templadas es de 7 000 kilogramos por hectárea [Kg/ha] (Paliwal, 2001). Ver Tabla 1.

**Tabla 1.** Países que presentan la mayor producción de maíz. Ciclo 2009/2010

Principales países	Millones de Toneladas Métricas [Tm]
Estados Unidos	321,69
China	166,00
Unión Europea	54,95
Brasil	51,00
México	54,5
Argentina	25,00
India	20,00
Ucrania	11,50
Sudáfrica	12,50
Canadá	11,00

**Fuente:** Agropanorama, 2010.

Según el Fondo Monetario Internacional (FMI), desde el año 2005 hasta el 2008, el precio de este grano creció un promedio de 34% por año. Ver Figura 1.



**Figura 1.** Precio internacional del maíz.

**Fuente:** Medina, 2009.

En la actualidad se comercializan internacionalmente 96 millones de toneladas métricas [Tm] y las exportaciones mundiales han incrementado. Ver Figura 2.



**Figura 2.** Exportaciones mundiales de maíz.

**Fuente:** Medina, 2009.

México se ubica como el tercer importador mundial con 10,4% de las importaciones totales, después de Japón y la Unión Europea. Ver figura 3.



**Figura 3.** Importadores mundiales de maíz.

**Fuente:** Medina, 2009.

En muchas partes de México, América Central y el Caribe, así como en algunas zonas de los países andinos, el maíz es un importante alimento básico, que una gran parte de la población rural produce para consumo doméstico. En el sur de Brasil, Argentina y Chile, los productores en gran escala cultivan el maíz básicamente con propósitos comerciales, utilizan un mayor grado de mecanización y grandes cantidades de insumos. En países como Estados Unidos y México el uso de semilla certificada alcanza al 100% de las siembras. En otros países como Venezuela, más o menos el 95% de la semilla que se utiliza es certificada, en nuestro país, a pesar de que se ha incrementado el uso de semilla certificada, se estima que solo en un 50% de la superficie sembrada de maíz se emplea semilla certificada (Medina, 2009).

En el Ecuador, según el último reporte del SIGAGRO (2009), la superficie de maíz suave en unicultivo para este año, fue 18 920 hectáreas [ha] cosechadas, con una producción de 44 322 toneladas métricas [Tm]. En la serranía del Ecuador, que es una zona templada, donde se cosechan 18.576 hectáreas [ha], con una producción de 44 048 toneladas métricas [Tm]. Imbabura es una de las provincias más importantes en la producción de maíz suave en unicultivo, donde se cosechan 1 111 hectáreas [ha], con una producción de 2 983 toneladas métricas [Tm]. La provincia de Pichincha, también representa una zona muy importante en la producción de maíz suave, donde se siembra en unicultivo alrededor de 3 569 hectáreas [ha], se cosechan 3 486 hectáreas [ha], con una producción de 11 280 toneladas métricas [Tm] y 6 914 toneladas métricas [Tm] en ventas.

Las variedades de maíz certificadas por el INIAP que son ampliamente cultivadas en la provincia de Imbabura son las de grano amarillo harinoso, destacándose la variedad Chaucho mejorado o INIAP 122 y en los sectores más templados en Pichincha se adaptan todas las variedades de maíz, entre ellas la variedad Blanco Blandito mejorado o INIAP 102 (<sup>ab</sup>Silva, *et al.*, 2000).

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO.**

Para la obtención de un maíz de calidad, la fertilización química es una práctica indispensable, siendo la fertilización nitrogenada la más importante debido a sus

evidentes efectos sobre el rendimiento. Actualmente se aplican 83 millones de [Tm] de fertilizante nitrogenado en el mundo. Aún cuando la fertilización química es una manera rápida de nutrir a las plantas, un manejo inadecuado representa un riesgo ecológico, por esta razón, para mejorar el rendimiento y producción del maíz actualmente se usan inoculantes microbianos o biofertilizantes, a base de bacterias reconocidas por su capacidad de promover el desarrollo de los cultivos y fijar el nitrógeno atmosférico.

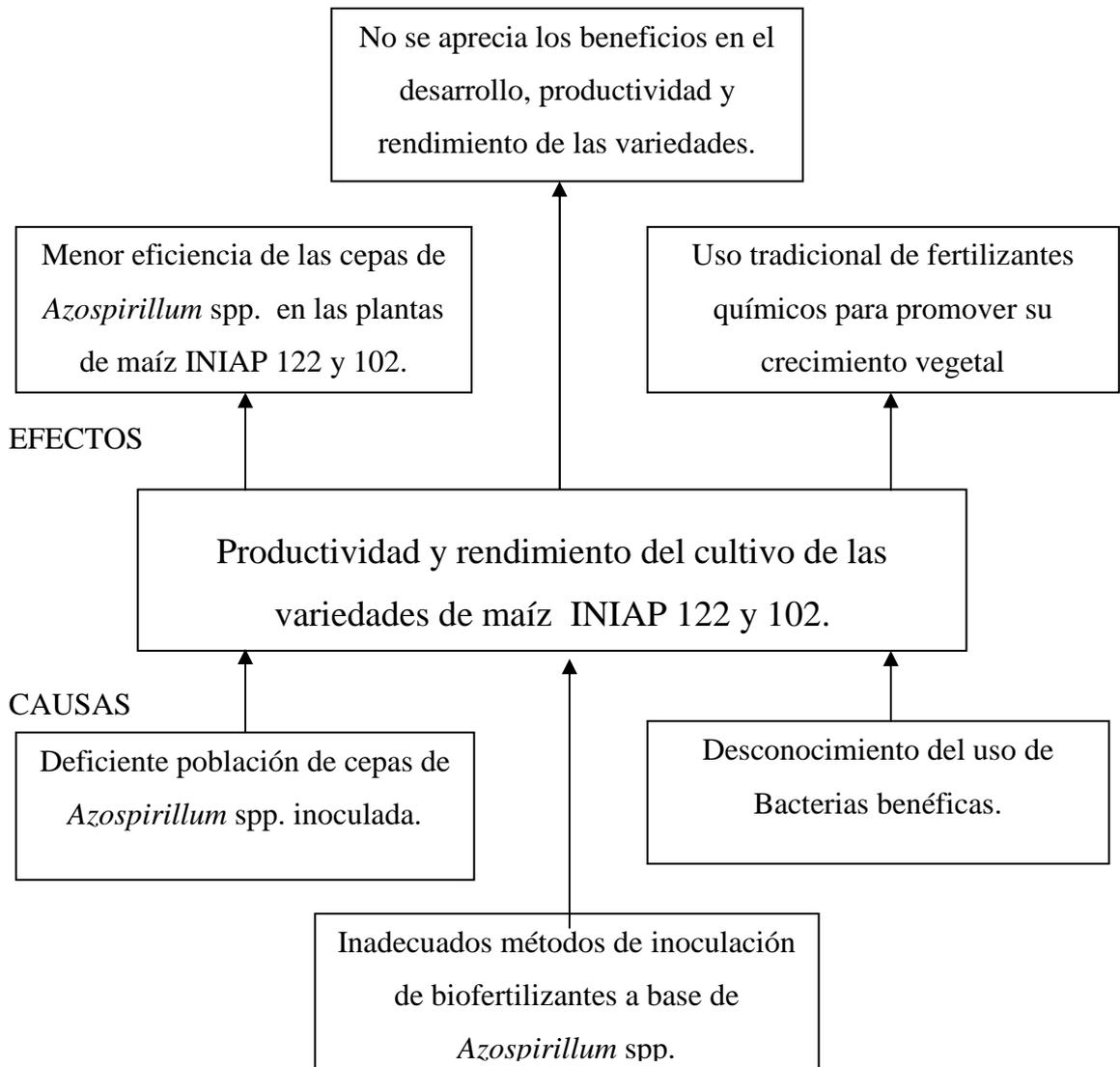
Es así que la fijación biológica del nitrógeno aporta entre 125 y 200 millones de [Tm] de nitrógeno por año, de las cuales 35 millones de [Tm] corresponden a la fijación simbiótica por leguminosas, 15 millones de [Tm] a la fijación simbiótica por plantas no leguminosas, 7 millones de [Tm] se han fijado en el cultivo de arroz, 80 millones de [Tm] en otra vegetación y 36 millones de [Tm] en especies marinas, es decir, que el nitrógeno aportado por la fijación biológica al suelo es de 137 millones de [Tm] y puede ser mayor si se aplican biofertilizantes en mayor escala (Peoples y Craswell, 1992).

A pesar de los experimentos exitosos, tanto en campo, como en invernadero, el desarrollo comercial de inoculantes a base de *Azospirillum* spp. se ha retrasado, debido a que la principal dificultad ha sido la inconsistencia de los resultados en campo. Las investigaciones podrán determinar si la interacción *Azospirillum* spp. – planta se utilizará solamente como un modelo biológico para el estudio básico de asociaciones entre plantas y bacterias benéficas, o si tendrá un impacto significativo en la producción agrícola del futuro.

Por esta razón se implementaran estudios en los sectores de Quinchuquí en Imbabura y Amaguaña en Pichincha donde se inoculará cepas *Azospirillum* spp. que habitan en asociación con las raíces de las gramíneas, con el objetivo de incrementar el número de microorganismos en el suelo y acelerar los procesos microbianos, para aumentar las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas, proveer de nitrógeno a la planta a través del proceso de fijación del nitrógeno, y sobre todo, promover el crecimiento del maíz de las variedades del INIAP, que ahora están más al alcance de los agricultores debido a

la expansión de la producción y la comercialización de semillas en los sectores público y privado.

### 1.2.2.1 Árbol de Problema.



**Figura 4.** Árbol de Problema (Relación causa – efecto).

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz.

### 1.2.3 PROGNOSIS.

En la sierra del Ecuador, una gran parte del cultivo de maíz pertenece a pequeños productores con escasos recursos económicos, poca utilización de fertilizantes y limitado uso de semilla de calidad, lo que puede provocar la baja productividad

del cultivo y los reducidos ingresos a los agricultores. Por esta razón el uso de semillas certificadas por el INIAP y la utilización de biofertilizantes para contribuir a la acción de los biofertilizantes químicos, sería una opción, para que el agricultor disminuya los costos que representa la adquisición de insumos, ya que de otro modo se acentuaría la pobreza del sector rural, los agricultores abandonarían el campo y pondrían en peligro la seguridad alimentaria del país.

#### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cuál método de inoculación permitirá al agricultor hacer uso más eficiente de las cepas de *Azospirillum* spp. para mejorar la producción y el rendimiento de las variedades de maíz (*Zea mays* L.), INIAP 102 en Amaguaña e INIAP 122 en Imbabura?

#### **1.2.5 INTERROGANTES.**

- ¿Cuál es el método de inoculación que introduce una población efectiva de *Azospirillum* spp. en el suelo de Imbabura y Pichincha para incrementar la producción y el rendimiento del maíz?
- ¿Cuál es la cepa de *Azospirillum* spp. con mayor grado de adaptabilidad y eficiencia para producir características deseables en el maíz?
- ¿Qué relación tiene la población de cada cepa de *Azospirillum* spp. en los suelos de Quinchuquí en Imbabura y Amaguaña en Pichincha con las poblaciones de actinomicetes, hongos, bacterias solubilizadoras de fósforo, bacterias degradadoras de celulosas?
- ¿Cómo influye los métodos de inoculación de *Azospirillum* spp. en el número de plantas emergidas, altura de planta, altura de inserción de mazorca en planta, porcentaje de daño a la mazorca por *Heliothis zea* y *Fusarium moniliforme*, diámetro de mazorca, longitud de mazorca, porcentaje de nitrógeno en suelo, porcentaje de nitrógeno en planta, rendimiento?
- ¿Cuál es el costo de cada una de las metodologías de inoculación de cepas de *Azospirillum* spp. en la siembra de las variedades de maíz INIAP 122 y 102 ?

## **1.2.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN.**

Categoría:	Investigación en desarrollo de inoculantes microbianos
Sub-categoría	Métodos de inoculación de cepas de <i>Azospirillum</i> spp.
Área	Agricultura Sustentable.
Sub-área:	Producción orgánica de maíz INIAP 122 y 102.

### **1.2.6.1 Geográfica y Temporal.**

La elaboración del biofertilizante a base de *Azospirillum* spp. se realizó en la Planta Piloto para la producción del biofertilizante, del Programa de Maíz de la EESC del INIAP, ubicada en la parroquia Cutuglahua, cantón Mejía, provincia de Pichincha.

La evaluación del biofertilizante en campo de las variedades de maíz del INIAP se desarrolló en los sectores de la Sección Oriental de la EESC del INIAP en la parroquia Amaguaña, cantón Mejía, provincia de Pichincha y en el Colegio Fernando Cháves en la parroquia Quinchuquí, cantón Otavalo, provincia de Imbabura.

La investigación se llevó a cabo, en el periodo Agosto 2009 – Agosto 2010, tiempo en el cual se incluye el ciclo de cultivo del maíz, de las dos variedades de maíz del INIAP.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

En la serranía ecuatoriana el maíz es de gran importancia por ser el componente principal de los sistemas de producción y subsistencia de los agricultores, por esta razón, se han abierto nuevas perspectivas en el empleo de inoculantes microbianos con efectos similares a los fertilizantes químicos en la producción del maíz.

El interés por el uso de biofertilizantes a base de bacterias benéficas, se fundamenta en aprovechar su capacidad para suplementar o movilizar nutrientes con un mínimo uso de recursos no renovables, además tiene la ventaja de que los

procesos microbianos son rápidos y los biofertilizantes pueden aplicarse en pequeñas unidades para solucionar problemas locales específicos.

La importancia teórico práctica de este estudio es que existe una gran cantidad de microorganismos cuya aplicación al suelo es beneficiosa, así, *Rhizobium* fija el nitrógeno; *Pseudomonas*, *Azospirillum* y *Azotobacter* promueven el crecimiento de las plantas; *Bacillus Polymyxa*, *Pseudomonas fluorescens* incrementan la asimilación de fósforo en el suelo. Sin embargo, solamente los biofertilizantes de *Rhizobium* para la fijación de nitrógeno en leguminosas como la soya, han alcanzado un amplio desarrollo en cuanto a niveles de producción, comercialización y aplicación.

Se conoce que la presencia de bacterias del género *Azospirillum* spp. está relacionada con los más altos rendimientos y que las sustancias secretadas actúan claramente como estimulante del desarrollo de raíces y de muchas de las funciones de crecimiento de la planta produciendo un desarrollo más vigoroso y sano. Frecuentemente, se observa que la inoculación con *Azospirillum* permite reducir entre el 40 al 50% el nivel de los fertilizantes, sin que exista disminución en el rendimiento de la cosecha.

Esta investigación se hace factible, por cuanto, se ha determinado el potencial de esta bacteria, en condiciones controladas de invernadero y campo. Un aspecto novedoso es la efectividad de la inoculación con *Azospirillum* spp. en condiciones de campo que a menudo es poco consistente, por lo que la colonización de las raíces por las bacterias es un requisito para el éxito de la inoculación. Esto tendrá un efecto directo sobre las variedades de semillas INIAP 122 y 102, las que producirán plantas con buenas mazorcas y bien desarrolladas. Por ende, la disponibilidad de esta información permitirá a los pequeños productores, conocer el manejo adecuado de los biofertilizantes a base de *Azospirillum* spp.

Realizando una profunda revisión bibliográfica sobre el tema, surge la necesidad de evaluar la aplicación de *Azospirillum* spp. en gramíneas, caso específico de las variedades de maíz INIAP 102 y 122, con el fin de corroborar y cuantificar los

probables beneficios de la aplicación de esta bacteria, mediante cuatro métodos de inoculación.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 GENERAL:**

Evaluar cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102, en las provincias de Imbabura y Pichincha.

### **1.4.2 ESPECÍFICOS:**

-Seleccionar el método de inoculación de *Azospirillum* spp. que mejore la producción y rendimiento del maíz, de las variedades INIAP 122 y 102.

-Elegir la cepa de *Azospirillum* spp. con mayor grado de adaptabilidad y eficiencia que permita el crecimiento y desarrollo del maíz, variedades INIAP 122 y 102.

-Escoger el método de inoculación de *Azospirillum* spp más rentable para los agricultores.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

A nivel mundial, entre los años 1974 a 1994, Okon y Labandera realizaron una amplia revisión sobre los experimentos realizados con *Azospirillum* spp. en diferentes sitios de Argentina, Cuba, Venezuela, México, Colombia en cultivos como algodón, girasol, caña de azúcar, frutilla, mora, tomate, mijo, maíz, soja, trigo, arroz. Esta evaluación reveló que el éxito de la inoculación fue en el rango del 60 al 70% de los experimentos realizados en suelos y regiones climáticas diferentes, con incrementos significativos, generalmente en el rango del 5 al 30% en el rendimiento de los cultivos (Saura, *et al.*, 2003).

En el Ecuador, el INIAP, ha realizado estudios con *Azospirillum* spp. en campo e invernadero. En el año 2003, se realizó una recolección de muestras de suelo y raíces de las principales zonas maiceras del centro sur de la sierra, logrando aislar y cuantificar nueve cepas de *Azospirillum* spp.

Estas fueron inoculadas en semillas de las variedades INIAP 102, 124 y 180 en invernadero, para evaluar el efecto en el crecimiento, peso fresco y seco de raíces, peso de materia verde y materia seca; obteniendo como resultado que todas las cepas estimularon el crecimiento de las plantas de maíz e incrementaron el peso seco de raíces. También, se logró identificar mediante pruebas fenotípicas y bioquímicas las nueve cepas nativas usando un testigo (*Azospirillum brasilense*), donde las cepas se diferenciaron principalmente por las características de sus colonias (Espinoza, 2004).

Posteriormente en otro estudio, las nueve cepas fueron inoculadas en las variedades mencionadas en condiciones de invernadero y campo, con el objetivo de evaluar el efecto de la inoculación de estas cepas nativas y seleccionar las mejores para el desarrollo de un biofertilizante en el futuro.

En condiciones de invernadero se observó un mejor crecimiento de la parte radicular y una mayor altura de planta en la mayoría de las inoculadas, en pruebas con semilla pregerminada se observó mayor porcentaje de emergencia y vigor de las plantas inoculadas con respecto al testigo.

En condiciones de campo, se observó un incremento significativo en el rendimiento de las variedades de maíz INIAP 102 y 124 con la cepa de Chimborazo que fue de 0,8 toneladas por hectárea [t/ha], que es superior al rendimiento obtenido con la cepa importada que corresponde a 0,4 toneladas por hectárea [t/ha] y del testigo que fue de 0,3 toneladas por hectárea [t/ha]. Mientras que la variedad INIAP 180 a pesar de haber sido fertilizada, incrementó el rendimiento de 2,7 t/ha con la cepa importada y 2 toneladas por hectárea [t/ha] con el testigo (Yáñez, *et al.*, 2004).

En el año 2006, se realizó un ensayo en campo en el sector de Sibambe en la provincia de Chimborazo, donde se evaluaron tres cepas que procedieron de los sectores de El Capulicito en Tungurahua (c1), Laguacoto 2 en Bolívar (c2), Cochapamba en Chimborazo (c3) y una cepa de *Azospirillum brasilense* de Cuba (testigo) en la variedad INIAP 102 (Blanco Blandito mejorado). Como resultado las cepas de *Azospirillum spp.* presentaron buena adaptabilidad y desarrollo en el cultivo de maíz, bajo condiciones de pH 7, temperatura y humedad promedio de 14,9 °C y 78%, respectivamente. Además, se determinó que c2 (*Azospirillum spp.* de Bolívar) fue la más eficiente en altura de planta, debido a que aumentó un 11,92% el tamaño de la variedad INIAP 102 (Molina, 2006).

Molina en su investigación también reporta que c2 más la aplicación del 50% de 18-46-00 y urea en forma asociada, incrementó el rendimiento de esta variedad a 4 167,4 Kilogramos por hectárea [kg/ha], en comparación con el testigo que incrementó el rendimiento a 2 121,61 Kilogramos por hectárea [kg/ha]. En lo relacionado al aspecto económico, manifestó que al utilizar c2 con el 50% de fertilización química se obtiene una tasa de beneficio/costo de \$ 2,67; siendo esta una alternativa rentable para la producción de maíz.

En las investigaciones anteriores, se seleccionaron las cepas de *Azospirillum* spp. más eficientes y competitivas del suelo y las que tienen la capacidad de adaptarse a distintas condiciones de estrés y tipos de suelo, pero para optimizar las interacciones planta –microorganismos, mejorar la actividad fijadora de nitrógeno y la síntesis de sustancias promotoras del crecimiento vegetal es necesario investigar otros métodos de inoculación de *Azospirillum* spp., para el cultivo de maíz.

## **2.1.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO CIENTÍFICA.**

### **2.1.1.1 AGRICULTURA SUSTENTABLE.**

#### **Introducción.**

En las últimas décadas, a partir de la llamada Revolución Verde, la necesidad de aumentar la producción de alimentos ha llevado a políticas de desarrollo agrícola que promueven el uso de aportes externos en reemplazo de los recursos y procesos naturales.

Por ejemplo, los pesticidas sustituyeron en gran medida a los medios biológicos para controlar plagas, malezas y enfermedades; mientras que los fertilizantes inorgánicos sustituyeron al estiércol, al abono vegetal y a la fijación biológica de nitrógeno. Este reemplazo introdujo problemas tales como altos costos energéticos, erosión, contaminación, pérdida de productividad, disminución de los ingresos y riesgos para la salud de la población.

#### **Definición.**

La agricultura sustentable se define como un modelo de organización económica y social, que requiere una participación activa de los agricultores y un conocimiento sobre el funcionamiento del ecosistema.

## **Objetivos.**

- Producir una cantidad adecuada de alimentos que contemple la protección de los recursos, la conservación del suelo, el agua, la energía, los recursos biológicos y la seguridad del ambiente.
- Mejorar el equilibrio entre los métodos de explotación, la capacidad productiva y las limitaciones ambientales para garantizar que los niveles de producción sean sostenibles a largo plazo.
- Permitir un acceso más equitativo a los recursos y a cadenas de producción más justas desde el punto de vista social y a un incremento de la autosuficiencia de los agricultores.

En este sentido los inóculos, fertilizantes bacterianos, inoculantes microbianos o biofertilizantes, constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable (Martínez, *et al.*, 2008).

### **2.1.1.2 INOCULANTES MICROBIANOS.**

Los inoculantes microbianos pueden definirse como productos a base de microorganismos que viven normalmente en el suelo y que al incrementar su población pueden beneficiar a la planta.

Existe una gran cantidad de estos productos disponibles en el mercado, cada uno con una composición, proceso de producción y efectos diferentes. En el 2003, se creó la Red Iberoamericana de Biofertilizantes Microbianos para la Agricultura (BIOFAG), cuyos objetivos son la integración de conocimientos para el desarrollo de biofertilizantes y tecnologías de inoculación, y el fomento de la utilización de biofertilizantes en Iberoamérica.

A continuación en la Tabla 2, se compara las ventajas de la utilización de los biofertilizantes microbianos en relación a los fertilizantes químicos.

**Tabla 2.** Biofertilizantes microbianos vs Fertilizantes químicos

<b>Biofertilizantes microbianos</b>		<b>Fertilizantes químicos</b>
-Aportan varios elementos benéficos y necesarios para el desarrollo de la planta, mejorando el rendimiento.	<b>Productividad</b>	-Suavizan los tejidos de la planta, provocando que esta sea menos resistente a las sequías, altas temperaturas, toxinas, altos niveles de pH.
-Ayudan al desarrollo de microorganismos y mejoran el ecosistema del suelo. -Los biofertilizantes con pH cerca de 7, son reguladores de la acidez del suelo.	<b>Ecosistema del suelo</b>	-Incrementan los altos niveles de acidez o salinidad en el suelo causando desequilibrio y matan los microorganismos,.
-El número de aplicaciones disminuye con el tiempo mientras que la fertilidad del suelo mejora. -La dependencia de nutrientes externos se vuelve menor.	<b>Frecuencia de aplicaciones</b>	-La fertilidad del suelo disminuye con el aumento de aplicaciones. -Con el tiempo, la fuente de nutrientes desaparece y es reemplazado por los productos químicos.
-Estable, ya que la materia prima utilizada proviene de fuentes renovables.	<b>Precio</b>	-Depende de combustibles fósiles y minería. -Esto lleva a un precio inflacionario a medida que la oferta de las fuentes no renovables disminuye.
-Las bacterias no producen efectos contaminantes. -Son producidas a través de energías limpias y renovables.	<b>Contaminación</b>	-Su producción produce contaminación. Al volatilizarse o disolverse contaminan la atmósfera, suelo y agua.

**Fuente:** Martínez, *et al.*, 2008.

Cada año la demanda de biofertilizantes aumenta a nivel mundial, principalmente aquellos formulados a partir de PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria).

### **2.1.1.3 BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL:**

#### ***Azospirillum***

*Azospirillum* spp, es una de las rizobacterias más estudiadas, son aerobias, viven libremente en el suelo asociada a las raíces de la plantas, promueve el crecimiento vegetal y fija el N<sub>2</sub>. Estudios han demostrado beneficios en el maíz, como incremento en la longitud y volumen de raíces, lo que significa una mayor absorción de nutrientes; incremento en el peso seco de planta y concentración de nitrógeno en follaje y grano, espigas fértiles, plantas más altas (Martínez, *et al.*, 2008).

#### **Historia.**

Fue descubierta por Martinus Beijerinck en 1925, en Holanda, como *Spirillum lipoferum*, a partir de suelos arenosos pobres en nitrógeno. Juan Cabriales y Johanna Döbereiner en 1973, aislaron la bacteria a partir del suelo adherido a pastos marinos secos en Indonesia (Caballero, 1998).

#### **Características.**

El género *Azospirillum* pertenece a la subclase alfa de las proteobacterias. Se trata de bacterias aeróbicas, Gram negativas, miden 1,0 um x 3,0 um, tienen forma vibroide, presentan movilidad en espiral.

Este género reacciona positivamente a pruebas bioquímicas como catalasa, oxidasa, motilidad, ureasa, motilidad, reducción de nitratos, reducción de acetileno.

Diversas condiciones tales como el envejecimiento celular y la presencia de metales pesados provocan que las células de *Azospirillum* cambien su morfología y tomen la forma de quistes, conduciendo a la agregación celular y formación de grumos visibles de gran tamaño, que son residuos de arabinosa presentes en el exopolisacárido y en el polisacárido capsular, conocidos como poli-b-

hidroxibutirato (PHB). La formación de quistes mejora la sobrevivencia de *Azospirillum*, sirven como almacén de carbono y energía brindando mayor resistencia a la desecación, a la luz ultravioleta y al choque osmótico. Vistos en el microscopio, a partir de cultivos semigelificados y gelificados con más de 24 horas de incubación se presentan frecuentemente como células refringentes con forma ovoide y de paredes gruesas (Caballero, 1998).

*A. amazonense* y *A. halopraeferans* son resistentes a los ácidos, sales y altas temperaturas, lo que favorece sus índices de sobrevivencia en la rizósfera. *A. amazonense*, *A. lipoferum*, *A. brasilense* y *A. halopraeferans* son tolerantes hacia altas concentraciones de Na Cl y sacarosa (Bashan, *et al.*, 1995).

**Clasificación.-** Las dos primeras en ser descritas en base a diferencias morfológicas, fisiológicas y genéticas fueron *A. lipoferum* y *A. brasilense*, siendo las más estudiadas. Posteriormente fueron descritas las especies *A. amazonense*, aislada de pastos del Amazonas en Brasil; *A. halopraeferans*, la especie halotolerante asociada exclusivamente de raíces del pasto Kallar; *A. irakense*, la especie que degrada pectina a partir de raíces de arroz y *A. largimobile*, considerada un sinónimo de la especie *A. lipoferum*. Recientemente, en honor de quien impulsara los estudios de este género, se ha propuesto la especie *A. doebereineriae* (Caballero, 1998).

#### **Hábitat y distribución.-**

Muestran una amplia distribución geográfica alrededor del mundo, aún cuando son más abundantes en las regiones tropicales, también se les encuentra en las regiones templadas, frías y desérticas.

Esta bacteria se encuentra en el suelo de la superficie de la raíz (rizoplano), en el suelo alrededor de las raíces (rizósfera) o asociada a las raíces de una gran variedad de cultivos como maíz, trigo, arroz, sorgo, avena, pastos forrajeros, henequén, plantas cactáceas (Caballero, 1998).

#### **Identificación fenotípica.**

El medio de cultivo ampliamente utilizado para las especies *A. lipoferum* y *A.*

*brasilense* ha sido el NFB (Nitrogen Fixation Biological) semigelificado, libre de nitrógeno y con malato como fuente de carbono, que con algunas modificaciones en su composición y pH permiten el aislamiento predominante de otras especies de *Azospirillum*.

Estos medios son usados frecuentemente para evaluar la actividad reductora de acetileno como indicativo de la fijación de nitrógeno, en los que se observa el crecimiento bacteriano en forma de sombrilla, es decir, una película blanca y densa bajo la superficie del medio de cultivo y el viraje del indicador azul de bromotimol, por cambio de pH.

El cultivo puro se logra en diferentes medios, siendo muy usado un medio adicionado del colorante Rojo Congo en el cual *A. lipoferum* y *A. brasilense* toman un color rojo escarlata que permite la diferenciación de otros géneros bacterianos. No obstante, en este medio pueden hallarse colonias mutantes de *Azospirillum* de color blanco debido a la incapacidad de producir polisacáridos no identificados (Caballero, 1998).

#### **Interacción de *Azospirillum* spp. con microflora nativa.**

Las interacciones pueden ser antagonistas, sinergistas o del tipo predador presa en las cuales *Azospirillum* spp. puede ser presa disponible para la macro y micro fauna necesitada de nutrimentos (Bashan, *et al.*, 1995).

Los estudios han demostrado que *Azospirillum* comprende entre 1 a 10% del número total de bacterias en la rizósfera, sin embargo, su contribución a la biomasa bacteriana es aún mayor porque *Azospirillum* es de mayor tamaño. Las cepas de *Azospirillum* spp. introducidas por los inoculantes compiten con las cepas nativas, sin embargo, la repetida inoculación de *Azospirillum* spp. permite el establecimiento en los suelos de las poblaciones provenientes de los inoculantes. En estas poblaciones se realiza un proceso de división genética, de tal manera que la cepa original introducida ha dado origen a nuevas subcepas con un variado grado de eficiencia (Okon, 1985; Peticari, 2005).

**a. Interacción sinergista.-** *Azospirillum* spp. con *Rhizobium* tiene una acción sinergista, observándose el incremento en la fijación de nitrógeno, mayor número de nódulos, incremento en el contenido de aminoácidos de raíces y brotes, y eventualmente un incremento en el rendimiento.

*A. lipoferum* y *A. brasilense* con hongos micorrízicos vesículo arbusculares también originan una interacción sinergista, obteniéndose un incremento significativo en el crecimiento y en el contenido de fósforo en las plantas.

Las bacterias solubilizadoras de fósforo *Pseudomonas striata*, *Bacillus polymyxa*, *Agrobacteria radiobacter* incrementan significativamente el rendimiento del grano y la absorción de nitrógeno y fósforo. El filtrado del hongo *Phialophora radicola*, es usado como agente de biocontrol promoviendo el crecimiento de *A. lipoferum* y *A. brasilense*. (Bashan, *et al.*, 1995).

**b. Interacción antagónica.-** La capacidad de producir bacteriocinas y sideróforos por algunas cepas de *A. brasilense* pudiera ser de gran importancia durante la colonización del ambiente rizosférico y de la superficie de las raíces al ejercer efectos antagónicos contra otros miembros de la comunidad microbiana, incluyendo a microorganismos patógenos de las plantas.

Alrededor de la tercera parte de actinomicetes aislados de la rizósfera del centeno fueron reportados como antagonistas de *A. lipoferum* y *A. brasilense* debido a la alta sensibilidad de estas bacterias a los antibióticos estreptomicina, tetraciclina y cloranfenicol producidos por actinomicetes del suelo.

Otro ejemplo, es la resistencia de *Azospirillum* a los antibióticos del tipo b-lactámicos producidos por hongos (Caballero, 1998).

**Colonización de *Azospirillum* spp.-** Una vez que las células de *Azospirillum* se han adaptado a las condiciones del ambiente rizosférico y han logrado llegar a la superficie de las raíces debido a factores químico y aerotácticos se inicia el establecimiento de la bacteria y la asociación con la planta (Martínez, *et al.*, 2008).

### **Condiciones del ambiente rizosférico.**

Entre los factores que más inciden en la adaptabilidad y eficiencia de *Azospirillum* en la rizósfera tenemos:

**a. Temperatura.-** Su mayor crecimiento ocurre entre 32 y 36 °C, y disminuye de forma pronunciada por debajo de 30 °C.

**b. pH.-** Con un punto óptimo entre 6,8 y 7,0; por debajo de pH 5 no es posible lograr su aislamiento.

**c. Suministro de Carbono.-** Los microorganismos deben de tener acceso a abundantes fuentes de carbono para su crecimiento y producción de energía, sobre todo en el caso de los fijadores de nitrógeno; ya que la fijación de una molécula de N<sub>2</sub> requiere aproximadamente 16 moléculas de ATP, por lo que los microorganismos deben utilizar considerables cantidades de sustratos.

**d. Humedad.-** La falta o exceso de humedad limita la vida microbiana en el suelo y en la zona rizosférica. El exceso influye sobre todo en la capacidad de aireación donde la población de microorganismos fijadores de nitrógeno disminuye, al reducir la aireación por exceso de humedad. Sin embargo, *Azospirillum* es capaz de formar quistes para sobrevivir durante largos períodos a la desecación.

**e. Aireación.-** Ejerce un efecto muy marcado, sobre el desarrollo de la mayoría de los diazótrofos, en comparación con otros microorganismos no fijadores. A pesar de esto, muchas bacterias que son aerobias son microaerófilas cuando fijan nitrógeno, como *Azospirillum* que funciona mejor a concentraciones reducidas de oxígeno, debido a la sensibilidad del complejo nitrogenasa al O<sub>2</sub>, el cual inactiva de forma irreversible a la enzima. Son capaces de crecer en medio semisólido sin nitrógeno, porque en medios con esta consistencia ocurren distintos gradientes de O<sub>2</sub>, de modo que las células pueden moverse hacia una zona donde el potencial de O<sub>2</sub> sea el adecuado.

**f. Alto contenido de arcilla, materia orgánica y buena capacidad de retención de agua.-** Estos factores permiten la supervivencia de *Azospirillum*, mientras que

alto contenido de partículas arenosas y elevada concentración de Carbonato de Calcio afectan negativamente su supervivencia (Martínez, *et al.*, 2008).

### **Factores para la colonización.**

**a. Quimiotaxia.-** Es el movimiento de los microorganismos hacia o en contra de una sustancia química determinada. Tanto en *A. lipoferum* como en *A. brasilense* se demostró una fuerte actividad quimiotáctica hacia diversos azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos, compuestos aromáticos y exudados radicales. En el maíz los exudados que predominan son: 65% de azúcares, 33% de azúcares y 2% de aminoácidos, aunque la diversidad es amplia y se han encontrado en este cultivo más de 10 tipos de ácidos orgánicos y 4 tipos de azúcares.

La respuesta quimiotáctica a diferentes fuentes de carbono es variable dependiendo de la especie de *Azospirillum*, e incluso, es de una cepa específica. Se ha demostrado que las células epidérmicas de las raíces están recubiertas de polisacáridos de doble origen, vegetal y microbiano, en las cuales se encuentran asentadas diferentes especies de microorganismos.

Por ejemplo, en las raíces nuevas se ubican microorganismos que utilizan azúcares fácilmente degradables y ácidos orgánicos, en cambio, en las raíces más antiguas predominan las bacterias y hongos adaptados a condiciones oligotróficas y capaces de degradar compuestos más recalcitrantes como la lignina y hemicelulosa (Caballero, 1998).

**c. Aerotaxia.** - Es la respuesta de las bacterias al oxígeno. Un estudio realizado con *A. brasilense*, indicó que las zonas de baja concentración en oxígeno fueron las preferidas por las células bacterianas para su crecimiento y multiplicación, siendo repelidas por altas concentraciones de oxígeno y condiciones anaeróbicas.

Se sugiere que tanto la respuesta quimio y aerotáctica son características que contribuyen en el proceso de colonización de las raíces de las plantas, ya que el consumo de oxígeno durante el crecimiento activo de las raíces enriquece el ambiente con sustratos orgánicos y genera gradientes de oxígeno al consumirse éste durante la respiración (Caballero, 1998).

### **Sitios y etapas de colonización.**

Los sitios que coloniza *Azospirillum lipoferum* son diferentes dependiendo de la variedad de la planta y la capacidad para colonizar las raíces de las plantas depende de la cepa. Las bacterias tienden a formar pequeños agregados en las áreas de elongación celular, bases de los pelos radicales, cofia, pelos radicales o dentro del mucigel que se acumula en la cofia (Saura, *et al.*, 2003).

La asociación de *Azospirillum* con las raíces se desarrolla en dos etapas completamente independientes:

**1. Adhesión.** - Es rápida, débil, dependiente de una proteína de la superficie de *Azospirillum*. La mayoría de las áreas radiculares son saturadas en un periodo de dos horas después de la inoculación, dependiendo de la fase de crecimiento bacteriano y de la cepa utilizada.

Si las bacterias no se adhieren a las células radiculares, las sustancias excretadas por las bacterias, se difunden hacia la rizósfera donde son consumidas por otros microorganismos, en cambio, si se adhieren a la superficie radicular, parte de estas sustancias penetran a los espacios intercelulares de la corteza radicular (Saura, *et al.*, 2003).

**2. Anclaje.** - Es lento, firme, caracterizado por la producción de fibrillas largas que contienen compuestos de naturaleza proteica y polisacáridos, producidos por la misma bacteria, que forman una red que conecta las células de la bacteria entre sí y a la superficie radicular de las plantas. Este proceso empieza después 8 horas de inoculación y alcanza su máximo nivel 16 horas después. Las fibras de soporte aseguran un transporte vertical bacteriano debido al crecimiento en la punta radicular hacia capas de suelo más profunda.

Si no se encuentran bien ancladas pueden ser fácilmente desprendidas de la raíz, por el agua provocando que mueran en el suelo, ya que se ha demostrado que la bacteria no sobrevive bien en suelos sin plantas (Saura, *et al.*, 2003).

## **Mecanismos de estimulación del crecimiento de las plantas.**

Uno de los principales mecanismos propuestos en la actualidad para explicar la promoción del crecimiento vegetal en plantas inoculadas con *Azospirillum* spp., se relaciona con su capacidad de producir y metabolizar compuestos reguladores del crecimiento vegetal o hormonas vegetales (Okon y Labandera Gonzáles, 1994).

Las hormonas vegetales son moléculas orgánicas sencillas que regulan la expresión de genes determinados, actúan como mensajeros químicos, controlan el crecimiento y desarrollo de la planta, responden a cambios ambientales y regulan la expresión genética de la planta, por lo que son capaces de desencadenar una respuesta bioquímica, fisiológica y morfológica. A continuación se describen las principales:

**a. Auxinas.-** Es el principal grupo de hormonas vegetales. Las especies de *Azospirillum brasilense* producen ácido indol – 3 – acético (IAA), que es la auxina principal en la mayor parte de las especies vegetales; otras especies producen ácido indol butírico (IBA), indol láctico, indol acetamida, indol acetaldehído, indol etanol, indol metanol, triptamina, antranilato. Existen tanto naturales como sintéticas; estas actúan a muy bajas concentraciones, del orden del nanomolar, puesto que en concentraciones altas actúan como herbicidas.

Se sintetizan en los tejidos de las hojas jóvenes, flores, semillas y frutos, a través de tres vías: del ácido indol pirúvico, del indol acetamida y una vía independiente del triptófano, desconociéndose el precursor.

**b. Citoquininas.-** Se empezaron a estudiar en el año 1954, son hormonas derivadas de la adenina (base nitrogenada del DNA).

Se han identificado 50 citoquininas y sus metabolitos y las más conocidas son Zeatina, Kinetina, Benziladenina. Cuando la concentración de citoquininas supera a la de auxinas se produce una inhibición del crecimiento apical y se produce un crecimiento en mata, debido a la acumulación de esta hormona en la parte apical de los brotes laterales.

Se sintetizan, sobre todo, en la zona meristemática de la raíz de la planta y son transportadas desde la raíz a través del xilema a toda la planta.

**c. Giberelinas.-** Todas las giberelinas descubiertas presentan el esqueleto hidrocarbonatado del gibano y tienen como mínimo un grupo carboxílico en el carbono siete, por tanto, se comportan como ácidos débiles que son solubles fácilmente en medio alcalino.

Se conocen en la actualidad más de 125 hormonas diferentes de este grupo. Las especies de *Azospirillum lipoferum* y *Azospirillum brasilense* producen giberelinas GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub> y GA<sub>5</sub>.

Las giberelinas se encuentran en cantidades particularmente abundantes en órganos jóvenes de las plantas, especialmente en los puntos de crecimiento del vegetal (zonas apicales) y en las hojas jóvenes en proceso de formación. Algunas se mueven libremente por la planta, pero en algunos casos, parecen estar muy localizadas.

**d. Ácido abscísico.-** Es un compuesto derivado del ácido mevalónico. Se ha comprobado que experimentan un aumento considerable ante una situación de estrés hídrico, frío y ciertas alteraciones patológicas estimulan su síntesis.

Su biosíntesis tiene lugar en frutos, semillas, raíces, hojas y tallos; se transporta rápidamente a toda la planta, tanto a través del xilema como del floema.

**e. Etileno.-** Es la única hormona vegetal que se presenta en estado gaseoso en condiciones normales de presión y temperatura, en situaciones de estrés (Hill, 1984).

Ver las funciones de las principales hormonas en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Funciones de las principales hormonas de crecimiento sintetizadas por *Azospirillum*.

<b>Tipo de hormona</b>	<b>Funciones</b>
<b>Auxinas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Iniciación y alargamiento de las raíces, estimulación de la formación de raíces adventicias y ramificaciones.</li> <li>2. Diferenciación de los vasos conductores xilema y floema.</li> <li>3. Estimulación del crecimiento apical de toda la planta.</li> <li>4. Fototropismos y geotropismos.</li> <li>5. Intervención en la mitosis o división celular. Las auxinas están implicadas en la síntesis de unas determinadas moléculas llamadas ciclinas, sin cuya presencia las células no pueden entrar en mitosis.</li> <li>6. Prevención de la caída de las hojas y de los frutos.</li> </ol>
<b>Citoquininas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transporte de sustancias a nivel de floema.</li> <li>2. Retraso de la senescencia de las hojas.</li> <li>3. Estimulación para la formación de flores y frutos.</li> <li>4. Aumento de los rendimientos.</li> </ol>
<b>Giberelinas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inducción del alargamiento de los entrenados en los tallos.</li> <li>2. Inducción de la germinación de las semillas.</li> <li>3. Retraso en la maduración de ciertos frutos.</li> <li>4. Estimulación para el desarrollo de flores y fruto.</li> </ol>

**Fuente:** Hill, 1984.

#### **2.1.1.4 MÉTODOS DE INOCULACIÓN.**

**Definición.** - Es el proceso de diseminar microorganismos adecuados proporcionando al suelo, semilla, o cultivo una elevada población, que sea capaz de multiplicarse en la rizósfera de la plántula. El éxito de la inoculación depende de la calidad de inoculante, así, las bacterias introducidas deben tener los requisitos de eficiencia, competencia, sobrevivencia y agresividad (Zvietcovich, 2004).

**Dosis.** - La dosis más favorable de los inoculantes, depende del tipo de aplicación, así pequeñas unidades de la bacteria aplicadas de forma adecuada pueden mejorar cultivos de gran extensión (Martínez, *et al.*, 2008). Según la FAO, 2001 las poblaciones de  $1 \times 10^7$  no permiten lograr la debida efectividad de las cepas de *Azotobacter* y *Azospirillum*, por esta razón estas deben ser extraídas de la fase exponencial de crecimiento en cultivos puros y las poblaciones no deben ser menores de  $1 \times 10^8$  a  $1 \times 10^9$  UFC/g de suelo.

#### **Ventajas.**

- Aseguran la provisión de bacterias benéficas para nutrir tempranamente al cultivo y maximizar su producción.
- Permiten la sobrevivencia de la bacteria en condiciones reales de campo.
- La elección a tiempo de un método de inoculación permite un uso más eficiente del inoculante, debido a que tiene una duración limitada y la posibilidad de sufrir contaminaciones (Zvietcovich, 2004).

**Tipos.**- Se conocen varios métodos de inoculación para los biofertilizantes, estos son al suelo y a la semilla (Zvietcovich, 2004).

**a. Inoculación al suelo.** - Se emplea para cualquier tipo de cultivo, aunque preferiblemente para semillas que no se pueden impregnar, como es el caso de la caña de azúcar y plantas de semillas muy pequeñas, que tienden a aglomerarse. la

inoculación más adecuada para el maíz es 250 ml/ 25 kg de semilla y 10 g/ Kg de semilla (Nitragin, 2002; Bernal, *et al.*, 2002).

La inoculación al suelo tiene la ventaja de introducir una población mayor de bacterias que la inoculación a la semilla, existiendo la posibilidad de que la mayoría de ellas sean efectivas. Esta puede ser líquida o sólida, sin embargo, la inoculación líquida al suelo es la más importante, porque al estar la bacteria en condiciones húmedas del suelo, aumenta su sobrevivencia siempre que sea a temperaturas bajas (Zvietcovich, 2004).

Para distribuir mejor los inoculantes para el suelo, estos se pueden suspender en vehiculizantes de acuerdo al tamaño de las semillas.

Para la inoculación líquida al suelo, se usa generalmente agua, que varía en función al tamaño de la semilla. Para la inoculación sólida al suelo se puede utilizar materiales como compost, vermiculita, humus; no obstante estos representan costos más altos para el agricultor, por esta razón, se puede utilizar suelo nativo para distribuir el inoculante sólido (Nitragin, 2002).

El inoculante para al suelo debe ser aplicado antes que la semilla. Si el inoculante es colocado en el fondo del surco la cantidad de bacterias disponibles para infectar las raicillas se encontrarán en un número mayor, teniendo de esta manera mayor posibilidad de cumplir con su cometido (Ventimiglia y Carta, 2005)

**b. Inoculación a la semilla.** - Se emplea para semillas de arroz, maíz, sorgo, etc. Este método aporta entre  $10^3$  y  $10^7$  UFC/semilla en dependencia del tamaño de la semilla. (Saura, *et al.*, 2003). La inoculación más adecuada para el maíz es 250 ml/ 25 kg de semilla y 10 g/ Kg de semilla (Nitragin, 2002; Bernal, *et al.*, 2002).

La importancia de las metodologías de inoculación a la semilla radica, en el contacto de la bacteria con la zona de germinación de la semilla, donde se produce el efecto rizósfera, en el cual la semilla con la humedad del suelo, se hidrata, la planta activa su metabolismo e inicia los cambios bioquímicos (Martínez, *et al.*, 2008).

La inoculación líquida a la semilla, es la metodología más utilizada, por los agricultores. Ha sido conocida por su fácil manejo y en muchos casos se ha comprobado que su eficacia es equivalente a la turba (Nitragin, 2002).

La inoculación sólida a la semilla requiere de un medio portador de la bacteria, que asegure su viabilidad en el suelo y durante el transporte al campo. Así, el soporte más utilizado es la turba, aunque se ha investigado la aplicación de otros, como carbón mineral, suelo mineral, cachaza, arcillas, bentonita, vermiculita, soportes sintéticos, lignito, bagazo, compost, zeolita, cáscaras de maní, tuzas de maíz, aserrín, cáscaras de arroz y cáscara de café entre otros. La turba se ha impuesto gracias a sus favorables características tales como alta capacidad de absorción y retención de agua, contenido natural de nutrientes, no forma grumos, facilidad de molienda y naturaleza biodegradable, no tóxica, ni contaminante, sin embargo, una de las limitaciones del uso de turba es la escases de yacimientos (Saura, *et al.*, 2003).

Para la inoculación líquida, se colocan las semillas durante 10 minutos en el inoculante, para permitir que la semilla se embeba del inoculante (Canto, *et al.*, 2004).

Para la inoculación sólida, se colocan 5 Kg de semillas en una solución azucarada o melaza al 40%, para disminuir la mortandad de las bacterias y mejorar la adherencia del inoculante sólido a la semilla (Molina, 2006). Estos deben ser transportados inmediatamente al campo e inoculados bajo sombra a una temperatura en lo posible no superior a 12°C (Zvietcovich, 2004).

#### **2.1.1.5 MAÍZ.**

Hoy día el maíz es el segundo cultivo del mundo de mayor importancia por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar y es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales.

El maíz es uno de los cereales utilizados por el hombre desde épocas remotas, su centro de origen está en México, desde donde se difundió a todo el mundo después del primer viaje de Cristóbal Colón a fines del siglo XV (Salazar, 1990).

#### **2.1.1.6 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.**

Según Salazar (1990), el conocimiento de la morfología y fisiología del maíz permite explicar porque es necesario suministrar prácticas agronómicas eficientes con la finalidad de lograr una expresión satisfactoria del potencial productivo de los materiales que se siembre y demostrar la eficiencia de los biofertilizantes.

A continuación se revisa la botánica del maíz.

**Sistema radical.** - La raíz primaria se origina en la radícula, tiene corta duración y es reemplazada por raíces adventicias o fasciculadas que brotan de la corona, la cual está formada por entrenudos angostos. Cuando la planta de maíz alcanza la altura de la rodilla, las raíces se han extendido hasta la mitad del entresurco aproximadamente y puede haber profundizado unos 46 cm. En la planta madura, las raíces pueden profundizar hasta 180 cm y explorar una superficie de 3,14 m<sup>2</sup>. De los nudos cercanos al suelo se originan raíces que favorecen la estabilidad, realizan fotosíntesis y pueden absorber eficazmente el fósforo.

**Tallo.** - Es erecto, interiormente carnoso, filamentoso y con alto contenido de agua. Está formado por nudos y entrenudos, la zona de crecimiento está localizada encima de los nudos y tiene medio milímetro de espesor.

**Hojas.-** Están dispuestas en posición alterna y varían de 20 a 30 por planta. Las hojas están conformadas por la vaina que envuelve al tallo, el cuello o zona de transición entre la lámina y la vaina, la lámina que puede medir hasta 150 cm de largo posee nervaduras paralelas y su superficie es áspera y pubescente.

**Inflorescencias.-** En el maíz, la inflorescencia masculina (espiga) y femenina (mazorca) se encuentran en la misma planta, pero en sitios diferentes, por esto, se dice que es monoica.

**Grano.-** La cubierta o capa de la semilla (fruto) se llama pericarpio. Es dura, por debajo se encuentra la capa de aleurona, que le da el color al grano (blanco, amarillo, morado) y contiene proteínas. Interiormente está el endosperma, con el 85 al 90% del peso del grano. El embrión está formado por la radícula y la plúmula, ubicándose en el escutelo, localizado en la parte inferior del grano donde va adherido a la tusa.

#### **2.1.1.7 DESARROLLO VEGETATIVO Y REPRODUCCIÓN.**

**Germinación.** - La semilla, con la humedad del suelo, se hidrata, activa su metabolismo y los cambios bioquímicos se inician. Resultado de ello, la radícula sale en tres o cuatro días, luego la plúmula y comienza la formación de hojas en el coleóptilo, cuyo contacto con la luz inicia el crecimiento de unas seis o siete hojas en 16 a 20 días.

Todas las hojas de la planta se forman durante los primeros 30 a 37 días de edad y normalmente produce entre 25 y 30, según el cultivar y las condiciones ambientales. Los nudos que producen raíces bajo tierra, se corresponden con los nudos que originan hojas. Entre los 25 y 35 días de edad de la planta se inicia la formación de la espiga. A pesar de los daños que pueda sufrir durante el desarrollo vegetativo, la planta de maíz tiene la capacidad de recuperarse si las condiciones posteriores le favorecen.

**Formación de mazorca y espiga.** - Cuando la planta ha producido la totalidad de las hojas entre los 25 y 35 días, el punto de crecimiento sufre un cambio repentino y en dos o tres días, se forma la espiga embrionaria. El crecimiento de la planta es acelerado al igual que las raíces, por lo tanto exige mayor cantidad de agua y nutrimentos, siendo esta una de las etapas críticas. Cualquier deficiencia afectará la producción de granos y tamaño de la mazorca; aquí el nitrógeno es el más absorbido.

La mazorca principal se origina aproximadamente en el sexto nudo por debajo de la espiga; más abajo se forman otras mazorcas rudimentarias, de las cuales una o dos pueden llegar a producir grano.

Desde que se inicia la formación de la espiga hasta que se produce la liberación de polen y alargamiento de los estilos (barba de la mazorca) la planta necesita de cinco a seis semanas. El ápice de la espiga se ve de ocho a diez días antes de la aparición de los estilos. El polen es liberado por las anteras y difundido por el viento durante cinco a ocho días, la abertura comienza en el centro de la espiga y a los tres días alcanza la máxima producción de polen. Se estima que cada espiga produce entre dos y cinco millones de granos de polen. Los estilos aparecen normalmente a los dos días de iniciada la polinización y en un lapso de tres a seis días salen todos los estilos de una mazorca. En condiciones de campo el 95% o más de los granos de cada planta, son producto de polinizaciones cruzadas.

**Formación del grano.-** Después de la polinización, los estilos se marchitan a la semana y se observa en la tusa bolsas acuosas que son granos en formación. A los 20 días después de la polinización los granos tienen el tamaño definitivo, se dice que está en estado lechoso con gran cantidad de azúcares. A los 25 a 30 días después, los azúcares se han transformado en almidones y ya se observa la corona del grano. El tamaño del grano está muy influenciado por las condiciones imperantes durante la fase de formación, de allí la importancia del suministro de agua durante este período. Entre los 50 y 56 días de ocurrida la polinización, el grano alcanza la madurez fisiológica y tiene su peso máximo con un 24 a 35% de humedad (Salazar, 1990).

#### **2.1.1.8 VARIEDADES DE SEMILLA DE MAÍZ.**

##### **Definición de variedad.**

Variedad una población formada por plantas que se cruzan libremente y tienen características definidas, pudiéndose diferenciar de otras.

### **Características.**

- Tienen un amplio potencial genético.
- Presentan un rango de adaptación más amplio que los híbridos, pero su capacidad productiva generalmente es menor.
- Su nivel de producción, es alto, por sobre las 5 toneladas métricas por hectárea.
- La elección de la variedad de maíz depende de algunos aspectos: la zona, el método del cultivo, el manejo del cultivo, el tipo de inversión y el tipo de agricultor que vaya a sembrar (Salazar, 1990).

### **Ventajas del uso de variedades mejoradas.**

- El agricultor puede repetir el proceso por dos o tres ciclos.
- Alto rendimiento en grano.
- Plantas de altura uniforme, plantas prolíficas, mazorcas bien formadas.
- Tolerantes al ataque de plagas y enfermedades.
- Garantía de buena emergencia y pureza.

### **Semillas de maíz INIAP.**

El Programa de Maíz de la EESC del INIAP, ha puesto énfasis en desarrollar variedades mejoradas a partir de cultivares locales. Para la conservación de esta diversidad genética se ha puesto énfasis en métodos de mejoramiento que incluyen colección de mazorcas en campo de agricultores, caracterización, evaluación agronómica participativa, cruzamientos entre las mejores colectas, métodos de selección y validación con agricultores de la misma región de donde fueron colectados los materiales.

Estas variedades mejoradas conservan las mismas características de mazorca y grano que el material original, así como la adaptación específica a las regiones para las que fueron desarrolladas, pero con rendimientos que notablemente superan a las variedades tradicionales.

### Tipos de semillas de maíz INIAP.

En la Tabla 4, se presenta la información de las variedades utilizadas en esta investigación.

**Tabla 4.** Información técnica de las variedades INIAP 102 y 122.

<b>Características principales</b>	<b>INIAP-102 (Blanco Blandito Mejorado) (Pichincha) (2200 a 2800 msnm)</b>	<b>INIAP-122 (Chaucho Mejorado) (Imbabura) (2200 a 2800 msnm)</b>
<b>Tipo</b>	Suave, tardío	Suave, precoz
<b>Origen</b>	Se derivó de un compuesto intervarietal de 5 colectas de maíz blanco harinoso y una población avanzada (Pool 1 x Guagal)	Se deriva de un cruzamiento múltiple entre 4 colecciones de maíces locales provenientes de Chaltura, Natabuela, La Florida e Imantag.
<b>Características</b>	Buen rendimiento, porte bajo, resistencia al acame, tolerancia a la pudrición de mazorca y buena calidad de grano.	Precocidad, porte bajo, resistencia al acame, tolerancia a la pudrición de mazorca y buena calidad de grano.
<b>Altura de planta</b>	238 cm	250 cm
<b>Altura a la mazorca</b>	130 cm	140 cm
<b>Longitud de mazorca</b>	14,5 cm	18 cm
<b>Rendimiento en choclos (sacos/ha)</b>	237 sacos o quintales	190 sacos
<b>Rendimiento en seco (sacos//ha)</b>	92 sacos	85 sacos

**Fuente:** <sup>a,b</sup> Silva, *et al.*, 2000.

### **Evaluación de las características morfológicas de las variedades de maíz INIAP.**

La evaluación, consiste en describir las características agronómicas de las variedades que generalmente corresponden a variables cuantitativas influenciadas por el ambiente y de baja heredabilidad. La evaluación de los recursos fitogenéticos debe estar encaminada a conocer a los individuos tal cual se comportan en la naturaleza y en sus reales dimensiones, ya sean anatómicas, morfológicas, fisiológicas o de cualquier índole sin importar si estas características o el comportamiento son promisorios o deficitarios, pues, la evaluación será totalmente imparcial y estará siempre lista para ser utilizada por cualquier persona o institución que requiera seleccionar el material fitogenético con fines específicos (Nieto, *et al.*,1984).

Enríquez (1991), expresa que los órganos más importantes para una descripción morfológica son aquellos menos influenciados por el ambiente, tales como la flor y el fruto, siguiéndoles en orden órganos como las hojas, tronco, ramas, raíces y los tejidos celulares. Para la caracterización se toma en cuenta los descriptores cualitativos (color y textura del grano, color de la planta, etc.) y aquellos descriptores cuantitativos influenciados por el ambiente (altura de planta, número de hojas por planta, número de ramificaciones de la espiga, etc.).

**Descriptores.-** Según IBPGR (1991), como su palabra lo indica, los descriptores describen o califican las características de las variedades de maíz con un valor numérico, una escala, un código o un adjetivo calificativo y manifiesta que el proceso de caracterización de germoplasma es un factor estratégico para la solución de los problemas actuales y futuros relacionados con la generación de nuevas alternativas dirigidas a la obtención de variedades vegetales mediante la utilización de métodos tradicionales o biotecnológicos.

Los descriptores varían de acuerdo con la especie y al criterio de quien ha de usarlos, así. Hoy se tiende a seleccionar un número mínimo de “descriptores” universalmente aceptados que faciliten el intercambio de información y material.

Existe el criterio, que mientras mayor sea el número de descriptores utilizados, mejor será la evaluación; sin embargo, por muchas razones, tales como: falta de tiempo, personal entrenado o un elevado número de entradas por evaluar, se aconseja seleccionar en base a prioridad, el número de descriptores, considerando en primer lugar, a los de mayor interés práctico (Nieto, *et al.*, 1984).

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.**

Según El Liceo Digital (2009), la investigación es una actividad que ha preocupado a filósofos y científicos porque les ha inquietado conocer el valor y el sentido de su actividad, por lo tanto sus preocupaciones no han sido exclusivamente de carácter epistemológico, sino también de orden axiológico.

Además el proyecto de investigación empleó lógica aplicada, que corresponde a un proceso de pensamiento que analiza el contenido real de sus premisas y conduce a una verdad material, una conclusión que sea concordante con la realidad.

La investigación recae en un principio de causalidad mismo que afirmar que no pueden existir efectos sin causas, puesto que el hombre no cree que sabe una cosa hasta que ha entendido el porqué, lo que es captar su causa primaria.

La presente investigación se basa en el paradigma positivista que tiene como escenario de investigación el laboratorio a través de un diseño pre estructurado y esquematizado; lo que según Kremer (1997), su lógica de análisis está orientada a lo confirmatorio, reduccionista, verificación, inferencial e hipotético deductivo mediante el respectivo análisis de resultados.

Además, la realidad es única y fragmentable en partes que se puede manipular independientemente y la relación sujeto - objeto es independiente. Para este enfoque la realidad es algo exterior, ajeno, objetivo y debe ser estudiada conocida.

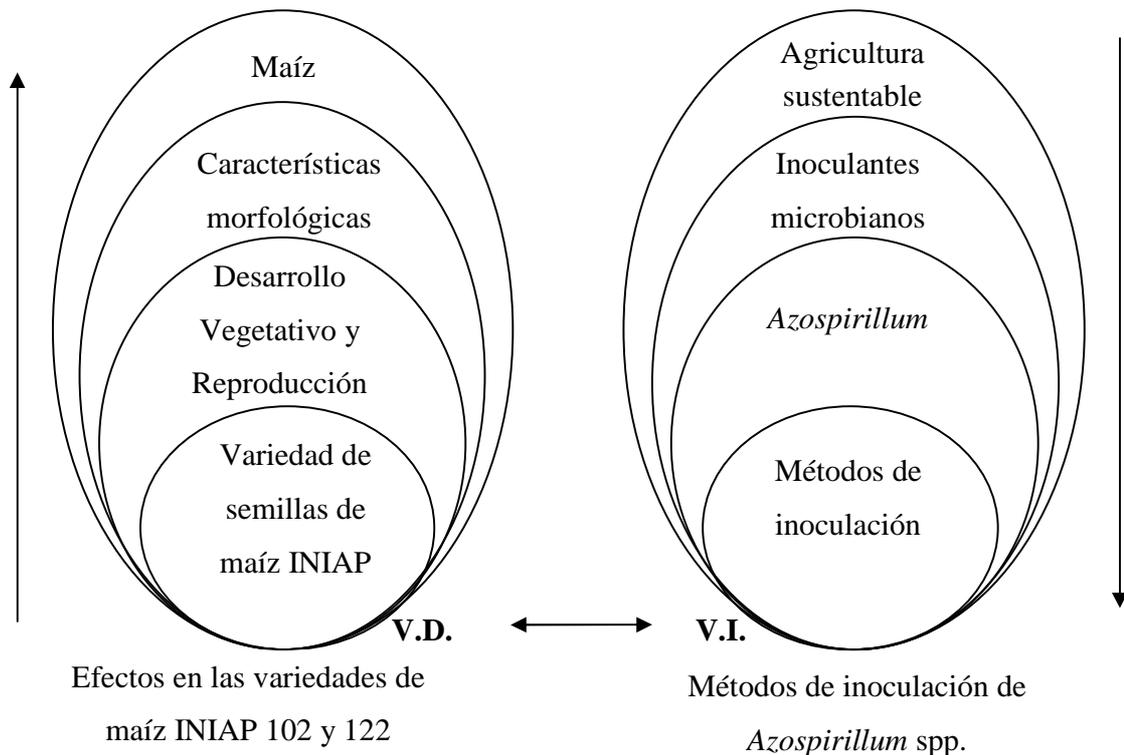
## 2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.

Según el SESA (Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria) a través del acuerdo Ministerial del 25 de Octubre del 2006, expidió la reforma al: REGLAMENTO DE LA NORMATIVA DE LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA AGROPECUARIA EN EL ECUADOR, en el Capítulo IV, del reglamento de la Producción Agrícola, que dice:

**Art. 15.- Fertilidad del suelo y nutrición de las plantas.-** Tanto la actividad biológica como la fertilidad natural del suelo, deberán ser mantenidas e incrementadas por medio de cultivo de leguminosas y otras plantas fijadoras de nitrógeno en unidades de producción, con un programa de rotación adecuado.

## 2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.

### 2.4.1 GRÁFICOS DE INCLUSIÓN INTERRELACIONADOS.



*Figura 5. Gráficos de inclusión interrelacionados.*

## 2.5 HIPÓTESIS.

### 2.5.1 HIPÓTESIS NULA (H<sub>0</sub>).

**Ho1.** Los métodos de inoculación de cepas de *Azospirillum* spp. no influyen en la eficiencia de las cepas para el mejoramiento de la producción y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.), de las variedades INIAP 122 y 102.

**Ho2.** Las cepas de *Azospirillum* spp. no permiten el crecimiento y desarrollo del maíz, de las variedades INIAP 122 y 102.

### 2.5.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H<sub>i</sub>).

**Hi1.** Los métodos de inoculación de cepas de *Azospirillum* spp. influyen en la eficiencia de las cepas para el mejoramiento de la producción y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.), de las variedades INIAP 122 y 102.

**Hi2.** Las cepas de *Azospirillum* spp. permiten el crecimiento y desarrollo del maíz, de las variedades INIAP 122 y 102.

## 2.6 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LAS HIPÓTESIS.

### 2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.

### 2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE.

El señalamiento de la variable independiente y dependiente se detalla en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Señalamiento de las variables de la hipótesis.

	<b>Variable Independiente</b>	
<b>Métodos de inoculación de</b>	<u>Líquido al suelo</u>	
	<u>Sólido al suelo</u>	<u>Cepa <i>Azospirillum</i> spp.</u>
	<u>Líquido a la semilla</u>	<u>Cepa <i>Azospirillum</i> spp.</u>
	<u>Sólido a la semilla</u>	
<b>Efectos de las variedades de</b>		<u>INIAP 122</u>
		<u>INIAP 102</u>

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.**

Este estudio se respalda en una modalidad “Bibliográfica - documental”, analizando estudios de la aplicación de Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal en varios cultivos a nivel mundial y local. La investigación es de “Campo – experimental”, la misma que consiste en actividades de campo y de laboratorio.

#### **3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

La investigación fue de tipo descriptivo y explicativo de las características agromorfológicas del maíz y de las poblaciones de la microflora y de *Azospirillum* spp. del suelo. Los resultados experimentales permitieron la asociación de variables, correlacionando la población de *Azospirillum* spp. introducida con cada método de inoculación frente a las variables: número de plantas emergidas, altura de planta, altura de inserción de mazorca en la planta, porcentaje de daño a la mazorca por plagas y hongos, diámetro y longitud de mazorca, porcentaje de nitrógeno total en suelo y planta, y población de microorganismos del suelo: actinomicetes, hongos, bacterias solubilizadoras de fósforo, bacterias degradadoras de celulosa.

#### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

En cada una de las parcelas o espacios de terreno donde se ubicaron los tratamientos, se sembró 100 plantas de maíz de la variedad INIAP 122 en Quinchuquí y variedad INIAP 102 en Amaguaña, es decir, 3600 plantas en total. La población estuvo conformada por las plantas de la parcela neta que es el espacio más representativo del centro de la parcela total, de donde se van a tomar los datos, es decir, 48 plantas por tratamiento (1728 plantas en total). La muestra estuvo formada por 10 plantas por tratamiento tomadas al azar de la parcela neta (360 plantas en total).

### 3.3.1 UNIDAD EXPERIMENTAL.

En cada ensayo se colocó 36 parcelas, que fueron las unidades experimentales o tratamientos.

### 3.3.2 FACTORES.

Para el cumplimiento eficaz de los objetivos propuestos en esta investigación, se consideraron factores de estudio y tratamientos que se detallan a continuación.

El factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) estuvo constituido por cuatro niveles de estudio que son las metodologías de aplicación de los inoculantes microbianos más conocidas por los agricultores. Ver Tabla 6. El factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) estuvo constituido por tres niveles de estudio que son las dos mejores cepas del INIAP y el testigo. Ver Tabla 7.

Los niveles de los factores A y B se nombran con la primera letra en minúscula, así, la letra m, para métodos de inoculación de cepas de *Azospirillum* spp. y c, para cepas de *Azospirillum* spp.

**Tabla 6.** Factor A: Métodos de inoculación de cepas de *Azospirillum* spp.

<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
m1	Método de inoculación líquido al suelo
m2	Método de inoculación sólido al suelo
m3	Método de inoculación líquido a la semilla
m4	Método de inoculación sólido a la semilla

**Tabla 7.** Factor B: Cepas de *Azospirillum* spp.

<b>CODIGO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>
c2	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. procedente de Laguacoto 2, Veintimilla, Guaranda, Bolívar.
c3	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. procedente de Cochabamba, Sibambe, Alausí, Chimborazo.
T	Testigo.

### 3.3.3 TRATAMIENTOS.

De la combinación de los factores indicados, se evaluaron doce tratamientos en total, resultantes de la combinación de cada cepa y el testigo, por cada método de inoculación. Los tratamientos se detallan en el Tabla 8.

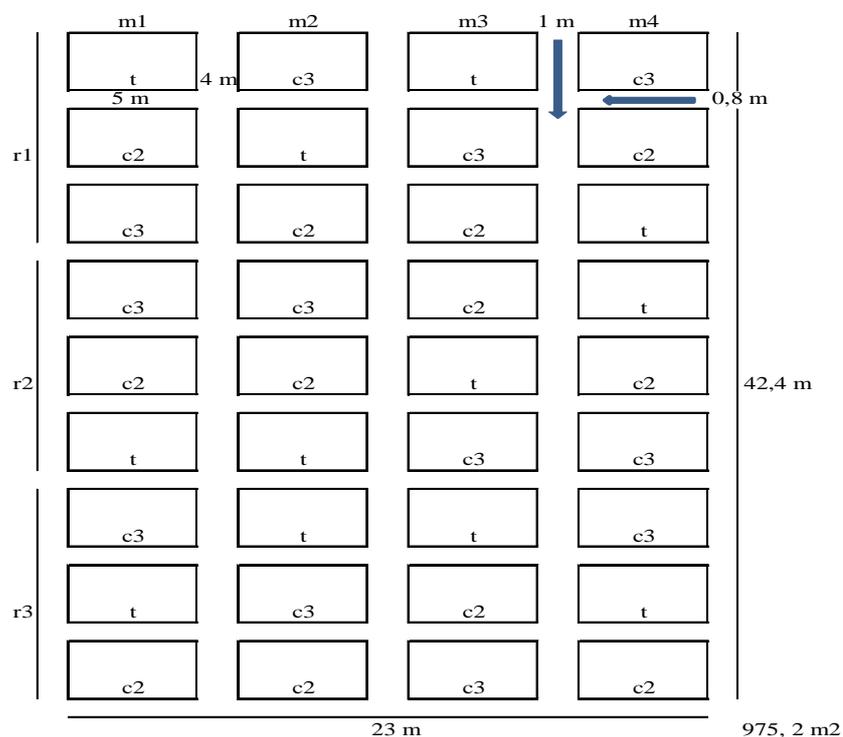
**Tabla 8.** Tratamientos en estudio.

<b>#</b>	<b>CODIGO</b>	<b>TRATAMIENTOS</b>
1	c2+m1	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. de Bolívar + Método de inoculación líquido al suelo.
2	c4+m1	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. de Chimborazo + Método de inoculación líquido al suelo.
3	tm1	Testigo
4	c2+m2	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. de Bolívar + Método de inoculación sólido al suelo.
5	c4+m2	Cepa <i>Azospirillum</i> spp. de Chimborazo + Método de inoculación sólido al suelo.
6	tm2	Testigo
7	c2+m3	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. de Bolívar + Método de inoculación líquido a la semilla.
8	c4+m3	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. de Chimborazo + Método de inoculación líquido a la semilla.
9	tm3	Testigo
10	c2m4	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. de Bolívar + Método de inoculación sólido a la semilla.

11	c4m4	Cepa de <i>Azospirillum</i> spp. de Chimborazo + Método de inoculación sólido a la semilla.
12	tm4	Testigo

### 3.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el análisis estadístico, se utilizó un Diseño de Parcela Dividida (DPD), con tres repeticiones. La característica que distingue a este diseño, es que existen dos unidades experimentales que difieren en tamaño y cada una tiene sus propias estructuras de diseño y tratamientos al azar. Los dos tipos de unidades experimentales fueron las parcelas principales y las subparcelas que están anidadas dentro de las parcelas principales. Así, la parcela grande se formó con las cuatro metodologías de inoculación de *Azospirillum* spp. y las subparcelas se formaron con las cepas de *Azospirillum* spp. y sus repeticiones. Ver Figura 12.



**Figura 6.** Dimensionamiento de los ensayos en Pichincha e Imbabura.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

Este diseño fue utilizado para un mejor manejo de los tratamientos en campo, ya que brinda datos reales de las variables estudiadas, por estas razones son muy utilizados en los estudios agronómicos, cuando se tiene más de un solo factor. Ya que hay existió más de un tamaño de unidad experimental, existió un error para cada tamaño de unidad experimental lo cual está reflejado en la tabla de Análisis de Varianza o ANOVA.

El análisis de varianza se detalla en el Tabla 9.

**Tabla 9.** Esquema de ADEVA.

<b>FUENTES DE VARIACION</b>	<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	
A. (Métodos)	A -1	3
B. (Cepas)	B -1	2
R. (Repeticiones)	R -1	2
Error a (Métodos x Repeticiones)	(A -1) x (R-1)	6
A x B. (Métodos x Cepas)	(A -1) x ( B-1)	6
Error b.	T – (3+2+6+2+6 )	19
T. (Total)	A x B x R -1	35

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

### 3.3.5 ANÁLISIS FUNCIONAL.

Para el análisis funcional, se realizó pruebas de significación a las variables que presentaron diferencias significativas: Prueba de Tukey al 5% para el factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) y para la interacción A x B (métodos de inoculación) x (cepas de *Azospirillum* spp.), y la prueba DMS al 5% para el factor B (cepas de *Azospirillum* spp.).

### 3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

#### 3.4.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE. Ver Tabla 10.

**Tabla 10.** Operacionalización de la Variable Independiente: Métodos de inoculación de cepas de *Azospirillum* spp.

Contextualización	Categorías	Indicadores	Item Básico	Técnicas Instrumentos e
Procedimiento que asegura la provisión de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, para maximizar su producción y rendimiento (Zvietcovich, 2004).	-Método de inoculación líquido al suelo. -Método de inoculación sólido al suelo. -Método de inoculación líquido a la semilla. -Método de inoculación sólido a la semilla.	-Población inoculada con cada método de inoculación y con cada cepa.	-¿Qué método de qué cepa de <i>Azospirillum</i> spp. introduce una mayor población de en los suelos en estudio?	-Cálculo de la concentración en UFC/ml por el método de medición de turbidez en espectrofotómetro (Fallick, 1988).

Elaborado por: Gabriela Ortíz

### 3.4.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE. Ver Tabla 11.

**Tabla 11.** Operacionalización de la Variable Dependiente: Efectos en las variedades INIAP 122 y 102.

Contextualización	Categorías	Indicadores	Item Básico	Técnicas – Instrumentos
Características producidas por la inoculación de <i>Azospirillum</i> spp. en dos tipos de maíz que han sido seleccionados en base a los recursos genético locales con los agricultores de las zonas maiceras, e investigadas a partir de un esquema de mejoramiento que se ajuste a las necesidades y sistemas de producción de los agricultores (Yáñez, 2007).	-INIAP 122. -INIAP 102.	-Características morfológicas del maíz. -Población de microorganismos y de <i>Azospirillum</i> spp. en el suelo. -Porcentaje de nitrógeno en suelo y plantas de maíz.	-¿Cuáles características de las variedades de maíz mejoran con la aplicación de los métodos de inoculación de <i>Azospirillum</i> spp. y con las cepas? -¿Cómo varía la población de microorganismos y de <i>Azospirillum</i> spp. en el suelo? -¿Qué cambios suceden en el porcentaje de nitrógeno del suelo y de la planta? -¿Qué costo tiene la aplicación de la bacteria?	- Uso de descriptores (IBPGR, 1991), CIMMYT (1986). -Análisis microbiológico por el método de siembra profunda (Frioni, 1999). -Aislamiento de la <i>Azospirillum</i> spp. en medio semisólido NFB (Dobereiner, 1976). -Determinación del NMP de <i>Azospirillum</i> spp. (Universidad Complutense, 2003). -Análisis químico de nitrógeno total en suelo y plantas por el método Semi microkjendahl (Laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas, EESC, INIAP). -Análisis económico CIMMYT (1988).

Elaborado por: Gabriela Ortíz

## 3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

### 3.5.1 METODOLOGÍA

#### 3.5.1.1 Preparación del Terreno.

Con anterioridad, se dispuso de una localidad en la provincia de Pichincha y otra en Imbabura, para implantar los ensayos. Las características de las localidades en estudio se detallan en los Tablas 12 y 13.

**Tabla 12.** Ubicación política y geográfica de los sitios experimentales.

Ubicación	Sitio 1	Sitio 2
Provincia <sup>1</sup>	Imbabura	Pichincha
Cantón <sup>1</sup>	Otavaló	Mejía
Parroquia <sup>1</sup>	Quinchuquí	Amaguaña
Sector <sup>1</sup>	Fernando Chávés	EESC - INIAP
Altitud <sup>1</sup>	2560 m	2756 m
Latitud <sup>1</sup>	00°22'09'' S	00°22'09'' S
Longitud <sup>1</sup>	78°15'04'' O	78°31'06'' O

**Tabla 13.** Características climáticas de los sitios experimentales.

Características	Sitio 1	Sitio 2
Temperatura anual <sup>2</sup>	15.1°C	17°C
Precipitación anual <sup>2</sup>	760 mm	1120 mm
Humedad relativa <sup>2</sup>	83,45 %	75%
Topografía <sup>3</sup>	Plano	Plano
Textura <sup>3</sup>	Franco Arenoso	
pH <sup>3</sup>	6.2	6.1

<sup>1</sup> Fuente: Datos tomados con GPS (Global Posicion System )

<sup>2</sup> Fuente: INHAMI, 2005.

<sup>3</sup> Fuente: Características físico químicas en base al análisis de suelo.

Se recogieron muestras de los suelos, de acuerdo a la metodología de los técnicos del Dpto. de Manejo de Suelos y Aguas de la EESC del INIAP y se realizó el análisis de macro y micronutrientes, pH y materia orgánica. Dicho análisis se ejecutó con dos meses de anticipación a la siembra para conocer la disponibilidad de estos elementos en el suelo y en su carencia suplir principalmente los requerimientos de N, P y K. (Yáñez, 2007). Los análisis de suelo se pueden ver en los Anexos A1 y A2.

Posteriormente, se realizaron labores de arada, rastra y surcada para permitir que el terreno quede suelto y sea capaz de captar agua sin que se produzcan encharcamientos, también para facilitar la descomposición de residuos y que el terreno tenga las condiciones adecuadas para la siembra. El día de la siembra se efectuó la medición de las parcelas (tratamientos o unidades experimentales), con la ayuda de una cinta y se delimitó cada parcela con estacas. También se trazaron los caminos con una soga y los hoyos de siembra se realizaron con espeque (Yáñez, 2007).

#### **3.5.1.2 Siembra.**

En la sierra, la fecha de la siembra del maíz varía desde Septiembre hasta mediados de Enero, dependiendo de la zona o localidad del cultivo y de la disponibilidad de agua de riego o de la cantidad de lluvias. Por esta razón, la siembra de las variedades INIAP 102 y 122 se realizó en Octubre y Noviembre, respectivamente. Considerando que la densidad de siembra es 25 a 30 Kg/ha de semilla, es decir, 50 000 plantas/ha, se depositó dos semillas por sitio de forma manual, a una profundidad de 5 cm, una distancia de 50 cm entre sitios y 80 cm entre surco (Yáñez, 2007).

Las semillas no fueron desinfectadas debido a que *Azospirillum* spp. no sobrevive a la aplicación de insecticidas, acaricidas y fungicidas; y su actividad se reduce en presencia de estos (Bernal y Graham, 2001). Se ha comprobado que el principio activo de los fungicidas o insecticidas no son los responsables del efecto nocivo en los fijadores de nitrógeno, sino que se podría tratar de algún componente del formulado como por ejemplo colorantes, solventes (Perticari, 2005).

### 3.5.1.3 Aplicación de métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.

La inoculación se realizó a la siembra, manualmente distribuyendo uniformemente el inoculante y procurando que todas las semillas queden inoculadas (Zvietcovich, 2004). La preparación de los inoculantes líquido y sólido de *Azospirillum* spp. se detallan en los Anexos B1 y B2. Para efecto, se aplicaron cuatro métodos de inoculación que se explican a continuación:

**a. Líquida al suelo.** - Se utilizó 2 ml del inoculante de *Azospirillum* spp. de Bolívar y 2 ml del inoculante de *Azospirillum* spp. de Chimborazo por cada 0,2 Kg de semilla INIAP 102 para Amaguaña e INIAP 122 para Quinchuquí, con una concentración de  $1 \times 10^9$  UFC/ml (FAO, 2001; Nitragin, 2002).

Los inoculantes se suspendieron en 1lt de agua de preferencia y se colocó uniformemente (aproximadamente 3 ml por sitio) a todas las parcelas de este tratamiento, con la ayuda de un aspersor manual estéril, antes de colocar las semillas para que la cantidad de bacterias disponibles que infecten las raíces de maíz se encuentren en un número mayor (Nitragin, 2002; Ventimiglia y Carta, 2005).

**b. Sólida al suelo.**- Se utilizó 2 g del inoculante de *Azospirillum* spp. de Bolívar y 2 g del inoculante de *Azospirillum* spp. de Chimborazo por cada 0,2 Kg de semilla INIAP 102 para Amaguaña e INIAP 122 para Quinchuquí, con una concentración de  $1 \times 10^9$  UFC/ml (FAO, 2001; Bernal, *et al.*, 2002).

Las turbas inoculadas se mezclaron con 1 Kg de suelo nativo y se colocó uniformemente (aproximadamente 3 g por sitio) a todas las parcelas de este tratamiento, con la ayuda de una chuchara estéril antes de la colocación de las semillas (Bernal, *et al.*, 2002; Ventimiglia y Carta, 2005).

**c. Líquida a la semilla.**- Se utilizó 2 ml del inoculante de *Azospirillum* spp. de Bolívar y 2 ml del inoculante de *Azospirillum* spp. de Chimborazo por cada 0,2 Kg de semilla INIAP 102 para Amaguaña e INIAP 122 para Quinchuquí, con una concentración de  $1 \times 10^9$  UFC/ml (FAO, 2001; Nitragin, 2002).

Se dejó la semilla en el inoculante por un espacio de 10 minutos para permitir que ésta se embeba del inoculante. Como una importante cantidad de bacterias muere al momento de la siembra, la inoculación se efectuó inmediatamente y en horas de la mañana de 7 a 10 am, para evitar temperaturas altas que afecten la viabilidad de la bacteria (Canto, *et al.*, 2004; Zvietcovich, 2004).

**d. Sólida a la semilla.-** Se preparó una solución de melaza al 40% (40 ml de melaza en 60 ml de agua destilada) y se colocó lo suficiente para la cantidad de semilla utilizada, hasta que todas presentaron un color cristalino. Se mezcló con 2 g del inoculante de *Azospirillum* spp. de Bolívar y 2 g del inoculante de *Azospirillum* spp. de Chimborazo soportado en turba, por cada 0,2 Kg de semilla INIAP 102 en Amaguaña e INIAP 122 para Quinchuquí, con una concentración de  $1 \times 10^9$  UFC/ml (FAO, 2001; Bernal, *et al.*, 2002).

El inoculante se mezcló bien con la semilla y se dejó bajo sombra por un espacio de 10 minutos hasta que las semillas estuvieron sueltas. Se sembró inmediatamente (Molina, 2006; Zvietcovich, 2004).

**e. Manejo de los testigos.-** Para el manejo de los testigos se colocó 2 semillas de las variedades INIAP 122 y 102 en cada sitio en la localidad correspondiente, sin la adición de inoculante.

#### **3.5.1.4 Fertilización.**

Se fertilizó de acuerdo a la recomendación del Dpto. de Manejo de Suelos y Aguas en base al análisis físico químico de los dos suelos. Se sugirió aplicar al menos una dosis de 140 Kg/ha de N y - 80 kg de -  $P_2O_5$ , la cual se puede alcanzar con la aplicación de 3 sacos de 45 Kg urea por hectárea [ha] y 2 sacos de 45 Kg de fertilizante fosforado 18 - 46 - 00 por hectárea [ha] (Composición: 18% de N, 46% de P y 0% de K) (Yáñez, 2007).

Para aprovechar la actividad fijadora de *Azospirillum* spp. se aplicó cantidades reducidas de fertilizantes minerales por lo menos hasta que la bacteria se haya establecido y este cumpliendo con su actividad fijadora (Martínez, *et al.*, 2008). Por esta razón, se utilizó el 50% de esta fertilización (1½ sacos de Urea/ ha y 1 saco de 18-46-0/ ha), es decir, para una superficie de 1000 m<sup>2</sup> en cada ensayo, se aplicó 14 Kg de Urea y 8 Kg de 18 – 46 – 0.

Estos se colocaron, en suelo húmedo, hasta el estado fenológico V8 (período vegetativo temprano), debido a que el sistema de raíces nodales está bien distribuido en el suelo en este estado. La forma de aplicación fue en el surco, a 10 cm de las plantas en banda lateral, para asegurar la disponibilidad de nutrientes y disminuir la mortandad de las bacterias, ya que los fertilizantes pueden crear un ambiente salino entorno a las semillas inoculadas, dependiendo de las dosis y condiciones edáficas. Posteriormente se tapó con el suelo para evitar la volatilización del nitrógeno inorgánico (Michael, 1998; Yáñez, 2007).

#### **3.5.1.5 Labores culturales.**

Se realizó el aporque después de 45 días de la siembra; que consistió en arrimar la tierra alrededor de la planta con el objeto darle sostén, aflojar el suelo y mantener la humedad de la tierra (Yáñez, 2007).

#### **3.5.1.6 Riego.**

La siembra de las variedades de maíz INIAP 122 y 102 se establecieron dentro de la época por lo que se aprovecharon las lluvias en las etapas de crecimiento de la planta y de floración, ya que de ésta depende la formación y llenado del grano (Yáñez, 2007). Sin embargo, en el ensayo en Imbabura, las condiciones climáticas no fueron muy favorables por lo que se tuvo que regar con agua, en forma de canchales, para evitar el paso del agua de una a otra parcela y la contaminación de los tratamientos.

### **3.5.1.7 Control de malezas.**

Se realizó la deshierba manual a los 45 días después de la siembra, que es una época de competencia por los nutrientes del suelo y esto puede reducir hasta un 25% la producción del maíz. Además, esta labor fue realizada para romper con la costra endurecida del terreno y para ayudar a que las raíces superficiales se desarrollen (Yáñez, 2007). No se utilizó herbicidas, debido a que un estudio reveló que de seis herbicidas probados, cinco inhibieron el crecimiento y la fijación de nitrógeno, y cuatro afectaron la movilidad de la bacteria (Bashan, *et al.*, 1995).

### **3.5.1.8 Control de plagas.**

Para el control del gusano de la mariposa *Heliothis zea*, se utilizó aceite vegetal comestible, con la finalidad de preservar los recursos naturales y el medio ambiente, así como la salud de los productores. Para 1 hectárea [ha] de cultivo de maíz se utiliza 3 litros de aceite comestible. Se colocaron de 2 a 3 gotas de aceite con un gotero en la punta de los estigmas (pelos del choclo), en dos aplicaciones, la primera cuando un 30% de las plantas presentaron floración femenina y la segunda luego de 8 días (Yáñez, 2007).

### **3.5.1.9 Cosecha.**

La cosecha del maíz se realizó de forma manual, en estado de choclo, es decir, cuando el grano estuvo en estado lechoso (80% de humedad) (<sup>a,b</sup>Silva, *et al.*, 2000). La variedad INAP 102 tuvo un ciclo de cultivo de 6 meses y la variedad INIAP 122 de 5 meses, en esta investigación. La metodología, se observa en las Figuras C1 a C16.

### **3.5.2 VARIABLES DE EVALUACIÓN.**

#### **3.5.2.1 Población inicial y final de microorganismos en muestra de suelo.**

Para el análisis inicial se recolectaron tres muestras de todo el terreno y para el análisis final tres muestras de cada tratamiento.

Se prepararon los siguientes medios de cultivo: agar caseína (actinomicetes), ramos callao (bacterias solubilizadoras de fósforo), extracto suelo (bacterias degradadoras de celulosa) y rosa de bengala (hongos); con los reactivos indicados en los Anexos B3 al B6, respectivamente. Se esterilizó los medios de cultivo, cajas, puntas y cajas petri a 121°C y 1 atm de presión por 20 minutos en el autoclave.

Seguido, se tamizó las muestras de suelo y se colocó 10 g en 90 ml de agua destilada estéril para la obtener la dilución  $10^{-1}$ . Se tomó 1 ml de esta dilución y se colocó en un tubo con 9 ml de agua destilada estéril, para obtener la dilución  $10^{-2}$ . De esta manera se realizaron diluciones seriadas hasta  $10^{-10}$ . Se utilizó el método de siembra profunda, para esto se sembró 1 ml de cada dilución en cajas petri estériles y se vertió aproximadamente 25 ml del medio de cultivo no muy caliente sobre las cajas petri realizando ligeros movimientos para lograr distribuir la muestra antes que solidifique.

Finalmente se selló, etiquetó e incubaron los actinomicetes y hongos a 37°C, mientras que las bacterias solubilizadoras de fósforo y degradadoras de celulosa a 26°C. El conteo poblacional de actinomicetes y bacterias solubilizadoras de fósforo se realizó en 2 días, el conteo de hongos en 7 días y las bacterias degradadoras de celulosa en 10 días (Frioni, 1999).

#### **3.5.2.2 Población inicial y final de *Azospirillum* spp. en muestra de suelo .**

Para determinar la población inicial y final de *Azospirillum* spp. se trabajó con las mismas muestras recolectadas para el análisis anterior.

Para esto se procedió a preparar 1 lt del medio de cultivo semisólido NFB (Nitrogen Fixation Biological), se depositó 6 ml de medio en tubos de ensayo y se esterilizó por 20 minutos a 121°C y 1 atm de presión. Los reactivos para la elaboración del medio se observan en el Anexo B7.

Se tamizó las muestras de suelo de ambas localidades en un tamiz de 2 mm y se pesó 10 gramos para diluir en 90 ml de agua destilada estéril ( $10^{-1}$ ). De esta dilución se tomó 1 ml para diluir en un tubo de ensayo con 9 ml de agua destilada estéril ( $10^{-2}$ ). Se agitó el tubo con la dilución  $10^{-2}$  y se tomó 1 ml para depositarlo en otro tubo con 9 ml de agua destilada estéril ( $10^{-3}$ ). Repitiendo este procedimiento se preparó las diluciones seriadas hasta  $10^{-10}$ . En cada tubo con medio NFB, se sembró 0.3 ml de cada dilución con tres repeticiones, los que se sometieron a incubación durante 14 días a 30°C (Espinoza, 2004).

Se consideraron como tubos con crecimiento bacteriano positivo aquellos cuyo medio de cultivo se tornó azul, por el viraje del indicador azul de bromothymol y porque presentaron una leve película blanquecina de 2 a 3 mm por debajo de la superficie del medio de cultivo.

Se determinó un número característico de 3 cifras, donde la última dilución de izquierda a derecha donde todos los tubos son positivos fue la primera cifra y las dos restantes cifras se formaron con el número de tubos positivos en las siguientes diluciones. Así, con el número característico, se calculó el Número Más Probable de *Azospirillum* spp. en UFC/gss, utilizando la tabla de Mc. Crady. Ver Tabla 14.

**Tabla 14.** Tabla de Mc Crady: 3 tubos por dilución

Número característico	Número de microbios	Número característico	Número de microbios	Número Característico	Número de microbios
000	0,0	201	1,4	302	6,5
001	0,3	202	2,0	310	4,5
010	0,3	210	1,5	311	7,5
011	0,6	211	2,0	312	11,5
020	0,6	212	3,0	313	16,5
100	0,4	220	2,0	320	9,5
101	0,7	221	3,0	321	15,0
102	1,1	222	3,5	322	20,0
110	0,7	223	4,0	323	30,0
111	1,1	230	3,0	330	25,0
120	1,1	231	3,5	331	45,0
121	1,5	232	4,0	332	110,0
130	1,6	300	2,5	333	140,0
200	0,9	301	4,0		

**Fuente:** Universidad Complutense, 2001.

No obstante, por ser un medio diferencial, este permitió el crecimiento de microorganismos fijadores de nitrógeno microaerófilos, por lo cual fue necesario confirmar la presencia del género *Azospirillum* (Bashan y Holguin, 1997).

Para constatar la presencia de *Azospirillum* spp. se aisló la bacteria de los tubos con crecimiento positivo por el método de superficie en placa, en medio específico Acido Máfico Rojo Congo. Ver Anexo B8. Posteriormente se realizaron pruebas bioquímicas como tinción de Gram, prueba de la catalasa y motilidad. Los materiales y las metodologías para las pruebas bioquímicas se explican en los Anexos B9 al B11.

### 3.5.2.3 Porcentaje de emergencia.

Se determinó el porcentaje de emergencia en todas las parcelas netas, dividiendo el número de plantas emergidas para el número de semillas sembradas en la parcela neta y se multiplicó por cien (IBPGR, 1991).

### 3.5.2.4 Altura de la planta.

Se midió la altura de las plantas de la muestra, desde la base de la planta hasta el punto donde la panoja empieza a ramificarse y la planta de maíz alcanza su altura máxima, es decir, en el estado fenológico VT. Estos valores se registraron en centímetros (IBPGR, 1991; Ritchie, *et al.*, 2003).

### 3.5.2.5 Altura de inserción de la mazorca en la planta.

Se midió la altura de inserción de la mazorca en las plantas, desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca superior, en el estado fenológico VR3, es decir, cuando el grano está en estado lechoso (85% de humedad). Los valores se registraron en centímetros (IBPGR, 1991; Ritchie, *et al.*, 2003).

### 3.5.2.6 Daño a la mazorca por el gusano de la mazorca (*Heliothis zea*).

Se calificó el daño causado por *Heliothis zea* en las plantas de la muestra, al momento de la cosecha en choclo. Los valores se registraron en porcentaje. Para esto se utilizó la escala que se detalla en el Tabla 15.

**Tabla 15.** Escala de daño a la mazorca por plagas.

Valor	% de granos con daño	Significado	Valor medio
1	0	Sin daño	0
2	1-10	Daño ligero	5.5
3	11-25	Daño moderado	18
4	26-50	Daño severo	38
5	51-75	Daño muy severo	63
6	76-100	Daño muy extremo	88

**Fuente:** CIMMYT, 1986.

Con las calificaciones de las mazorcas se realizó un promedio ponderado.

$$\text{Promedio ponderado} = (x_1y_1+x_2y_2+\dots\dots\dots x_{10}y_{10})/T$$

Donde:

x = Número de mazorcas en cada valor de la escala.

y = Valor medio correspondiente a la escala.

T = Número total de mazorcas.

### 5.2.7 Daño a la mazorca por hongos (*Fusarium moniliforme*).

Se calificaron las mazorcas de cada parcela neta que presentaron infección por *Fusarium moniliforme* al momento de la cosecha en choclo. Los valores se registraron en porcentaje. Se utilizó la escala que se detalla en el Tabla 16.

**Tabla 16.** Escala de daño a la mazorca por hongos.

Valor	% de granos con síntomas	Significación	Valor medio
1	0	Sin daño	0
2	1-10	Daño ligero	5.5
3	11-25	Daño moderado	18
4	26-50	Daño severo	38
5	51-75	Daño muy severo	63
6	76-100	Daño muy extremo	88

**Fuente:** CIMMYT, 1986.

Con las calificaciones de las mazorcas se realizó un promedio ponderado.

$$\text{Promedio ponderado} = (x_1y_1+x_2y_2+\dots\dots\dots x_{10}y_{10})/T$$

Donde:

x = Número de mazorcas en cada valor de la escala.

y = Valor medio correspondiente a la escala.

T = Número total de mazorcas.

### 3.5.2.8 Diámetro de la mazorca.

De las mazorcas se midió el diámetro en el sector medio de cada mazorca y se registró el valor promedio en cm (IBPGR, 1991).

### 3.5.2.9 Longitud de la mazorca.

Se midió la longitud de las mazorcas de la parcela neta desde la base, en su inserción con el pedúnculo, hasta su ápice y se registró el valor promedio en cm (IBPGR, 1991).

### 3.5.2.10 Rendimiento en choclo.

Se contó el número de choclos de cada clase por parcela neta y se clasificó en base a la norma INEN 761 (1991); que establece tres categorías: pequeños (III), medianos (II) y grandes (I); que se detalla en el Tabla 17.

**Tabla 17.** Clasificación del choclo por su tamaño.

CLASE	Diámetro ecuatorial (cm)		Longitud (cm)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Primera clase		$> o = 7$		$> o = 20,1$
Segunda clase	4,0	6,9	10,0	20,0
Tercera clase		$< o = 3,9$		$< o = 9,9$

**Fuente:** Norma INEN 761, 1991.

A partir de esta clasificación, se determinó el rendimiento de choclos de cada clase por ha, tomando en consideración que un saco contiene 120 choclos de la clase 1, 150 choclos de la clase 2 y 180 choclos de la clase 3. Se promediaron los rendimientos de cada clase. Los resultados se expresaron como rendimiento total en sacos/ha.

### **3.5.2.11 Análisis de nitrógeno en suelo.**

Para la determinación de la cantidad de nitrógeno disponible y total, al inicio del ensayo se tomaron de 10 a 20 muestras por triplicado del suelo cercano al sistema de raíces principal y se mezclaron bien. Para la determinación de la cantidad de nitrógeno total, al final del ensayo, se tomó una muestra de cada tratamiento, a partir del estado vegetativo temprano del maíz (V10), donde existe una gran demanda de la planta por nutrientes y agua del suelo, lo cual continuará hasta llegar a los estadios reproductivos (Michael, 1998; Ritchie, *et al.*, 2003). Para la determinación de nitrógeno disponible y total se utilizó el método Semi microkjendahl del Laboratorio de Suelos y Foliare del Dpto. de Manejo de Suelos y Aguas, en la EESC del INIAP.

### **3.5.2.12 Análisis de nitrógeno en planta.**

Se tomó en costales una muestra por tratamiento de toda la planta en el estado vegetativo (V10) donde la velocidad de absorción de nutrientes es alta y por lo tanto comienza la acumulación de nutrientes en los tejidos de las plantas, lo cual continuará hasta llegar a los estadios reproductivos (Michael, 1998; Ritchie, *et al.*, 2003). Estas muestras se analizaron en el Laboratorio de Foliare de la EESC del INIAP por el método Semi microkjendahl.

### **3.5.2.13 Análisis de Presupuesto Parcial y Tasa de Retorno Marginal.**

Se determinó el Presupuesto Parcial a través del método propuesto por el CIMMYT (Centro Internacional de Manejo de Maíz y Trigo), 1988.

Para el cálculo del beneficio bruto, se calculó el rendimiento ajustado al 10% a partir del rendimiento medio de choclos en sacos por hectárea [ha], y este se multiplicó por el precio de campo del cultivo en dólares americanos por hectárea [\$/ha], considerando que el saco de choclo tiene un precio de \$ 8, según el mercado nacional.

Para obtener el beneficio neto de cada tratamiento, se restó del Beneficio Bruto, el total de los costos que varían. El precio de los biofertilizantes por cada método de

inoculación fueron: \$ 0 el testigo; \$27,37 el biofertilizante para inoculación líquida al suelo; \$29,47 el biofertilizante para inoculación sólida al suelo; \$19,37 el biofertilizante para inoculación líquida a la semilla y \$21,47 el biofertilizante sólido a la semilla.

Para el análisis de Dominancia se ordenó de menor a mayor los costos que varían, y se consideró tratamiento dominado cuando este tuvo beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos y los tratamientos no dominados fueron aquellos cuyos beneficios netos son mayores a los de un tratamiento de costos que varían más altos.

Se calculó la Tasa de Retorno Marginal, que es el beneficio neto marginal, es decir, el aumento en beneficios netos, dividido por el costo marginal, o sea, el aumento en los costos que varían, expresado en porcentaje.

### **3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.**

En este estudio se aplicó:

- Representación tabular mediante los paquetes informáticos Word y Exel.
- El análisis estadístico de la información se realizó en el paquete estadístico INFOSTAT, para lo cual se utilizó un Diseño de Parcela Dividida (DPD).
- Comparación múltiple de Tukey para el Factor A y la interacción AxB, y DMS (Diferencia Mínima Significativa) para el Factor B en las variables con significación.
- Representación de datos en histogramas.
- Análisis correlacional, para conocer la dependencia de las variables evaluadas en las variedades INIAP 102 y 122 y en los suelos de Amaguaña y Quinchuquí, con la población de *Azospirillum* spp. al final del ciclo de cultivo. A partir de estos datos, se obtuvo el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación  $r^2$ .

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

##### **4.1.1 POBLACIÓN DE MICROORGANISMOS EN MUESTRA DE SUELO (ACTINOMICETES, HONGOS, BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO Y DEGRADADORAS DE CELULOSA).**

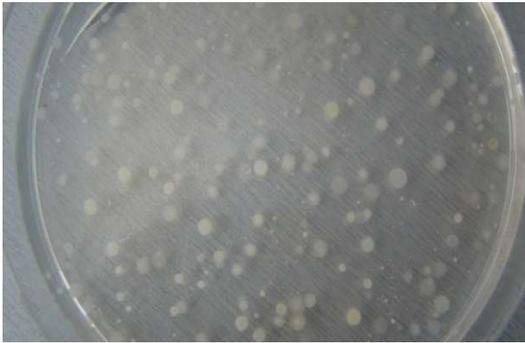
La diferencia en la composición de los suelos en estudio produjo grandes diferencias en la densidad de la población microbiana y en la clase de microorganismos que forman esta población.

Las cuentas directas revelan que hay varios billones por gramo, pero las realizadas en las muestras sembradas en placa dieron solamente una fracción, ya que los medios de cultivo revelaron los tipos fisiológicos y nutritivamente compatibles con el mismo, los que fueron caracterizados fenotípicamente.

Se pudo aislar hongos, actinomicetes, bacterias degradadoras de celulosa y solubilizadoras de fósforo. Los actinomicetes presentaron forma circular, de aspecto consistente y de varias coloraciones, en su mayoría blanquecinos y amarillentos. Los hongos presentaron un aspecto esponjoso, de colores blanco, amarillo, verde y negro.

Las bacterias solubilizadoras de fósforo formaron un halo en el medio de cultivo que indica la solubilización e inmovilización del fósforo inorgánico. Las bacterias degradadoras de celulosa presentaron forma ovoide, además, se pudo observar la degradación por la bacteria de las fuentes de celulosa del medio de cultivo.

El aislamiento de los microorganismos se puede observar en las Figuras 7 a 10.



**Figura 7.** Actinomicetes en medio Agar Caseína. Dilución  $1 \times 10^6$ . Quinchuquí - Imbabura. 2010.



**Figura 8.** Bacterias solubilizadoras de fósforo en medio Ramos Callao. Dilución  $1 \times 10^4$ . Quinchuquí -



**Figura 9.** Hongos en medio Rosa de Bengala. Dilución  $1 \times 10^2$ . Quinchuquí – Imbabura. 2010.



**Figura 10.** Degradadores de celulosa en medio Extracto Suelo. Dilución  $1 \times 10^5$ . Quinchuquí – Imbabura. 2010.

Se analizó la población de estos microorganismos en el suelo de Amaguaña, antes de la inoculación, Tabla 18, donde, se pudo observar en Unidades Formadoras de Colonias por gramo de suelo seco (UFC/gss):  $1,25 \times 10^7$  actinomicetes,  $1,65 \times 10^6$  bacterias solubilizadoras de fósforo,  $1,12 \times 10^4$  hongos,  $5,24 \times 10^5$  bacterias degradadoras de celulosa, mientras que los promedios de población final expresados en UFC/gss fueron:  $8,59 \times 10^6$  actinomicetes,  $1,55 \times 10^6$  bacterias solubilizadoras de fósforo,  $1,41 \times 10^4$  hongos y  $4,96 \times 10^5$  bacterias degradadoras de celulosa. Ver Figura 11.

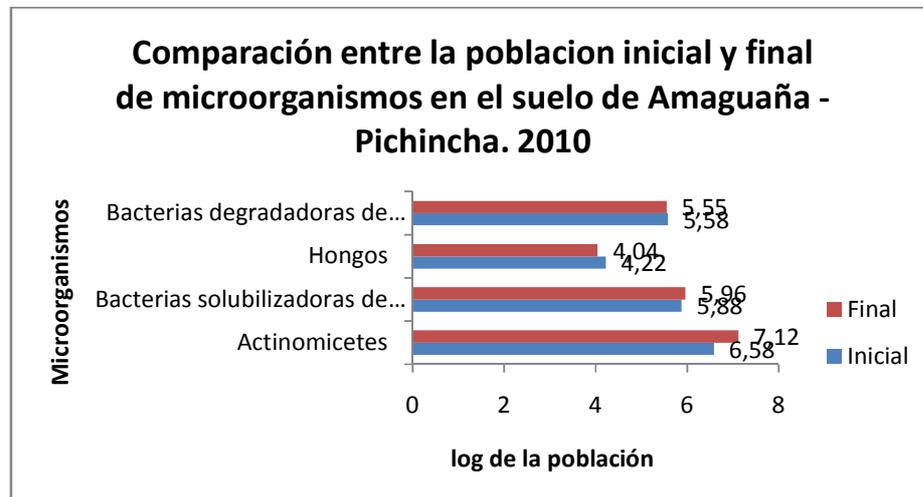
En el suelo de Quinchuquí, Tabla 19, se observó poblaciones iniciales en UFC/gss:  $3,79 \times 10^6$  actinomicetes,  $7,51 \times 10^5$  bacterias solubilizadoras de fósforo,  $1,66 \times 10^4$  hongos y  $3,79 \times 10^5$  bacterias degradadoras de celulosa; mientras que los promedios de

población final expresados en UFC/gss fueron:  $1,87 \times 10^7$  actinomicetes,  $1,21 \times 10^6$  bacterias solubilizadoras de fósforo,  $1,53 \times 10^4$  hongos y  $4,37 \times 10^5$  bacterias degradadoras de celulosa. Ver figura 12.

**Tabla 18.** Comparación entre la población inicial y población final de microorganismos en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010.

Localidad	Población inicial			
Amaguaña	Actinomicetes	Bacterias solubilizadoras de fósforo	Hongos	Bacterias degradadoras de celulosa
x (UFC/gss)	$1,25 \times 10^7$	$1,65 \times 10^6$	$1,12 \times 10^4$	$5,24 \times 10^5$
Log x	7,09	6,22	4,05	5,72
	Población Final			
x (UFC/gss)	$8,59 \times 10^6$	$1,55 \times 10^6$	$1,41 \times 10^4$	$4,96 \times 10^5$
Log x	6,82	6,14	4,12	5,59

Elaborado por: Gabriela Ortíz

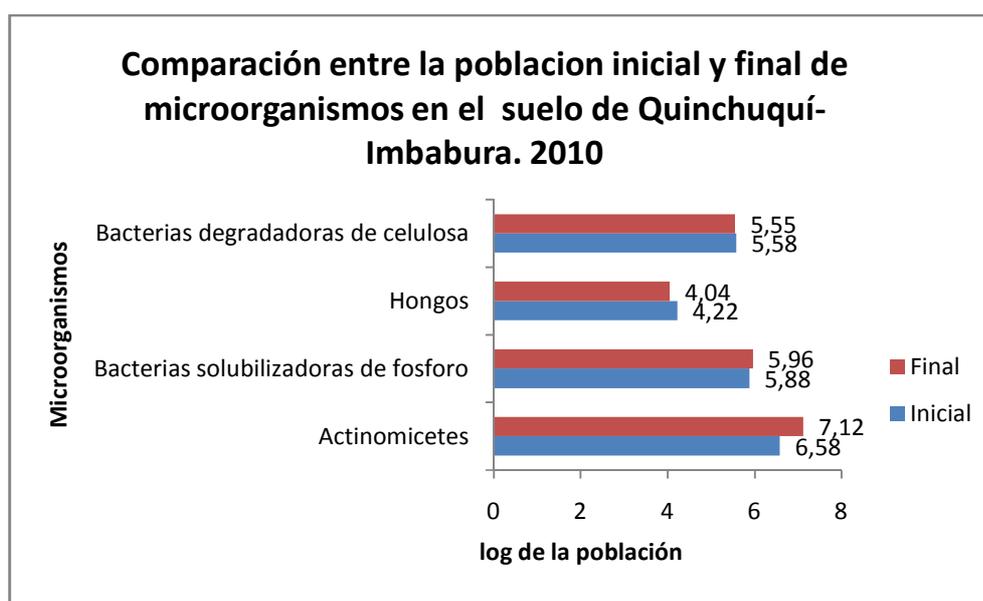


**Figura 10.** Comparación entre la población inicial y final de microorganismos en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010

**Tabla 19.** Población inicial y población final de microorganismos en el suelo de Quinchuquí - Imbabura. 2010.

Localidad	Población inicial			
Quinchuquí	Actinomicetes	Bacterias solubilizadoras de fósforo	Hongos	Bacterias degradadoras de celulosa
x (UFC/gss)	$3,79 \times 10^6$	$7,51 \times 10^5$	$1,66 \times 10^4$	$3,79 \times 10^5$
Log x	6,58	5,88	4,22	5,58
	Población Final			
x (UFC/gss)	$1,84 \times 10^7$	$1,21 \times 10^6$	$1,53 \times 10^4$	$4,37 \times 10^5$
Log x	7,12	5,96	4,04	5,55

Elaborado por: Gabriela Ortíz



**Figura 11.** Comparación entre la población inicial y final de microorganismos en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010

En Amaguaña, Tabla 20, en el Análisis de Varianza, se observa que para el factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.), existió significación estadística en población de hongos; alta significación estadística en población de actinomicetes, bacterias solubilizadoras de fósforo y degradadoras de celulosa; para el factor B (cepas de *Azospirillum* spp.), presentaron alta diferencia significativa población de actinomicetes, hongos, bacterias solubilizadoras de fósforo y bacterias degradadoras de celulosa; para la interacción A x B se observó alta diferencia significativa en población de hongos.

En Quinchuquí, Tabla 21, en el Análisis de Varianza, se puede observar que, el factor A fue altamente significativo para actinomicetes, hongos, bacterias solubilizadoras de fósforo y bacterias degradadoras de celulosa; el factor B fue significativo en bacterias solubilizadoras de fósforo y degradadoras de celulosa, y altamente significativo en actinomicetes; para la interacción, se tuvo diferencia significativa en bacterias degradadoras de celulosa y diferencia altamente significativa en actinomicetes y hongos.

**Tabla 20.** Análisis de Varianza para población final de microorganismos en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña – Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA			
		Población de actinomicetes (UFC/gss)	Población de bacterias solubilizadoras de fósforo (UFC/gss)	Población de hongos (UFC/gss)	Población de bacterias degradadoras de celulosa (UFC/gss)
<b>TOTAL</b>	35				
<b>Repeticiones</b>	2	0,05	0,04	0,02	0,02
<b>FACTOR A</b>	3	0,48 **	0,86 **	1,23 *	0,22 **
<b>ERROR A</b>	6	0,01	0,14	0,03	0,04
<b>FACTOR B</b>	2	0,00 **	0,13 *	0,05 ns	0,19 *
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,74 **	0,04 ns	0,11 *	0,15 *
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,02	0,03	0,02	0,04
<b>Promedio final (UFC/gss)</b>		1,84x10 <sup>7</sup>	1,21x10 <sup>6</sup>	1,53x10 <sup>4</sup>	4,37x10 <sup>5</sup>
<b>Promedio Transformado Log (x)</b>		7,12	5,96	4,04	5,55
<b>Coefficiente de correlación r</b>		-0,33	0,33	-0,15	0,67
<b>Coefficiente r<sup>2</sup></b>		0,11	0,11	0,02	0,45
<b>Coefficiente de variación A (%):</b>		1,11	6,33	4,15	3,57
<b>Coefficiente de variación B (%):</b>		1,79	2,66	3,59	3,52

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 21.** Análisis de Varianza para población final de microorganismos en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp. en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

<b>CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA</b>					
<b>Fuentes de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Población de actinomicetes (UFC/gss)</b>	<b>Población de bacterias solubilizadoras de fósforo (UFC/gss)</b>	<b>Población de hongos (UFC/gss)</b>	<b>Población de bacterias degradadoras de celulosa (UFC/gss)</b>
<b>TOTAL</b>	35				
<b>Repeticiones</b>	2	0,05	0,04	0,02	0,02
<b>FACTOR A</b>	3	0,48 **	0,86 **	1,23 **	0,22 **
<b>ERROR A</b>	6	0,01	0,14	0,03	0,04
<b>FACTOR B</b>	2	0,00 **	0,13 *	0,05 ns	0,19 *
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,74 **	0,04 ns	0,11 **	0,15 *
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,02	0,03	0,02	0,04
<b>Promedio final (UFC/gss)</b>		1,84x10 <sup>7</sup>	1,21x10 <sup>6</sup>	1,53x10 <sup>4</sup>	4,37x10 <sup>5</sup>
<b>Promedio Transformado Log (x)</b>		7,12	5,96	4,04	5,55
<b>Coefficiente de correlación r</b>		-0,33	0,33	-0,15	0,67
<b>Coefficiente r<sup>2</sup></b>		0,11	0,11	0,02	0,45
<b>Coefficiente de variación A(%)</b> :		1,11	6,33	4,15	3,57
<b>Coefficiente de variación B(%)</b> :		1,79	2,66	3,59	3,52

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

### **Prueba de Tukey al 5% para el Factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para el factor A, en Amaguaña con INIAP 102 y en Quinchuquí con INIAP 122, Tablas 22 y 23, se observa que:

En población de actinomicetes, en primer rango se ubicó m1 (método de inoculación líquido al suelo) con INIAP 102; m1 (método de inoculación líquido al suelo), m2 (método de inoculación sólido al suelo) y m3 (método de inoculación líquido a la semilla) con INIAP 122.

En población de bacterias solubilizadoras de fósforo, en primer rango se ubicó m3 (método de inoculación líquido a la semilla) con INIAP 102; m3 (método de inoculación líquido a la semilla) y m4 (método de inoculación sólido a la semilla) con INIAP 122.

En población de hongos, en primer rango se ubicó m1 (método de inoculación líquido al suelo) con la variedad INIAP 102; m1 (método de inoculación líquido al suelo) y m2 (método de inoculación sólido al suelo) con INIAP 122.

En población de bacterias degradadores de celulosa, en primer rango se ubicó m4 (método de inoculación sólido a la semilla) con INIAP 102 y en primer rango con iguales promedios se encontraron m3 (método de inoculación líquido a la semilla) y m4 (método de inoculación sólido a la semilla) con INIAP 122.

**Tabla 22.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para población final de microorganismos y Tukey al 5% para las variables con significancia estadística. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%.							
		Población de actinomicetes (UFC/gss)		Población de bacterias solubilizadoras de fósforo (UFC/gss)		Población de hongos (UFC/gss)		Población de bacterias degradadoras de celulosa (UFC/gss)	
		log		log		log		log	
		Real (x)	(x)	Real (x)	(x)	Real (x)	(x)	Real (x)	(x)
m1	Inoculación líquida al suelo	1,23x10 <sup>7</sup>	7,02 a	1,35x10 <sup>6</sup>	6,11 bc	1,63x10 <sup>4</sup>	4,15 a	2,60x10 <sup>5</sup>	5,36 c
m2	Inoculación sólida al suelo	7,90x10 <sup>6</sup>	6,76 ab	1,06x10 <sup>6</sup>	5,98 c	1,39x10 <sup>4</sup>	4,13 ab	2,70x10 <sup>5</sup>	5,36 c
m3	Inoculación líquida a la semilla	5,70x10 <sup>6</sup>	6,62 b	2,18x10 <sup>6</sup>	6,30 a	1,23x10 <sup>4</sup>	4,07 b	5,57x10 <sup>5</sup>	5,72 b
m4	Inoculación sólida a la semilla	8,49x10 <sup>6</sup>	6,87 ab	1,61x10 <sup>6</sup>	6,19 ab	1,53x10 <sup>4</sup>	4,14 ab	8,99x10 <sup>5</sup>	5,94 a

**Tabla 23.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para población final de microorganismos y Tukey al 5% para las variables con significancia estadística. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%							
		Actinomicetes (UFC/gss)		Bacterias solubilizadoras de fósforo (UFC/gss)		Hongos (UFC/gss)		Bacterias degradadoras de celulosa (UFC/gss)	
		log		log		log		log	
		Real (x)	(x)	Real (x)	(x)	Real (x)	(x)	Real (x)	(x)
m1	Inoculación líquida al	1,98x10 <sup>7</sup>	7,24 a	5,54x10 <sup>5</sup>	5,71 b	2,70x10 <sup>4</sup>	4,39 a	3,37x10 <sup>5</sup>	5,49 ab
m2	Inoculación sólida al	2,41x10 <sup>7</sup>	7,31 a	6,27x10 <sup>5</sup>	5,69 b	2,09x10 <sup>4</sup>	4,30 a	2,67x10 <sup>5</sup>	5,36 b
m3	Inoculación líquida a la semilla	1,55x10 <sup>7</sup>	7,15 a	2,21x10 <sup>6</sup>	6,31 a	8,22x10 <sup>3</sup>	3,89 b	5,93x10 <sup>5</sup>	5,68 a
m4	Inoculación sólida a la semilla	1,43x10 <sup>7</sup>	6,79 b	1,44x10 <sup>6</sup>	6,13 a	4,95x10 <sup>3</sup>	3,60 c	5,50x10 <sup>5</sup>	5,68 a

**Prueba DMS (Diferencia Mínima Significativa) al 5% para el Factor B (cepas de *Azospirillum* spp.).**

Al realizar la prueba DMS al 5% para el factor B, en Amaguaña con INIAP 102 y en Quinchuquí con INIAP 122, Tablas 24 y 25, se observa que:

En población de actinomicetes, t (testigo) se ubicó en primer rango con INIAP 102; c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar), c4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo) y t (testigo) con INIAP 122.

En población de bacterias solubilizadoras de fósforo, se observó que c2 (cepa *Azospirillum* spp. de Bolívar) se ubicó en primer rango con INIAP 102 y c4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo) con INIAP 122.

En población de hongos, se pudo notar que c2 (cepa de *Azospirillum* spp. Bolívar) y t (testigo) se ubicaron en primer rango con INIAP 102.

En población de bacterias degradadoras de celulosa se evidenció que c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar) y c4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo) se ubicaron en primer rango con INIAP 102 y 122.

**Tabla 24.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para población final de microorganismos y DMS al 5% para las variables con significancia estadística. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación de DMS al 5%											
			Actinomicetes (UFC/gss)		Bacterias solubilizadoras de fósforo (UFC/gss)		Hongos (UFC/gss)		Bacterias degradadoras de celulosa (UFC/gss)					
			log		log		log		log					
			Real (x)	(x)	Real (x)	(x)	Real (x)	(x)	Real (x)	(x)				
c2	<i>Azospirillum</i>	Bolívar	$4,05 \times 10^6$	6,49	c	$2,11 \times 10^6$	6,34	a	$1,41 \times 10^4$	4,13	a	$6,43 \times 10^5$	5,73	a
c4	<i>Azospirillum</i>	Chimborazo	$6,38 \times 10^6$	6,82	b	$1,31 \times 10^6$	6,10	b	$9,85 \times 10^3$	3,99	b	$5,11 \times 10^5$	5,64	a
t	Testigo	Testigo	$1,45 \times 10^7$	7,14	a	$1,06 \times 10^6$	5,99	c	$1,82 \times 10^4$	4,26	a	$3,35 \times 10^5$	5,41	b

**Tabla 25.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para población final de microorganismos y DMS al 5% para las variables con significancia estadística. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación de DMS al 5%							
			Actinomicetes (UFC/gss)		Bacterias solubilizadoras de fósforo (UFC/gss)		Hongos (UFC/gss)		Bacterias degradadoras de celulosa (UFC/gss)	
			Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)
c2	<i>Azospirillum</i>	Bolívar	$1,44 \times 10^7$	7,12 a	$1,08 \times 10^6$	5,94 b	$1,77 \times 10^4$	4,11	$5,61 \times 10^5$	5,65 a
c4	<i>Azospirillum</i>	Chimborazo	$2,43 \times 10^7$	7,12 a	$1,51 \times 10^6$	6,08 a	$1,45 \times 10^4$	4,03	$4,48 \times 10^5$	5,60 a
t	Testigo	Testigo	$1,66 \times 10^7$	7,13 a	$1,04 \times 10^6$	5,87 b	$1,41 \times 10^4$	3,99	$3,01 \times 10^5$	5,41 b

**Prueba Tukey al 5% para la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.).**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para la interacción A x B en Amaguaña y en Quinchuquí, Tablas 26 y 27: En población de actinomicetes, con INIAP 122, se observa mayor promedio o en primer rango a c4m2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo + método de inoculación sólido al suelo) con  $4,36 \times 10^7$  UFC/gss y con menor promedio a c4m4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo + método de inoculación sólido a la semilla) con  $1,09 \times 10^6$  UFC/gss. En población de hongos, con INIAP 102, el mayor promedio presentó c2m1 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido al suelo) con  $1,77 \times 10^4$  UFC/gss y con menor promedio fue c4m4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo + método de inoculación sólido a la semilla) con  $8,20 \times 10^3$  UFC/gss; con INIAP 122, c2m1 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido al suelo) tuvo el mayor promedio de  $4,0 \times 10^4$  UFC/gss y el menor promedio tuvo tm4 (testigo) con  $2,43 \times 10^3$  UFC/gss. En la variable población de bacterias degradadoras de celulosa, con INIAP 122, el mayor promedio presentó c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido la semilla) con  $9,48 \times 10^5$  UFC/gss y con menor promedio fue tm2 (testigo) con  $1,59 \times 10^5$  UFC/gss.

**Tabla 26.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para población final de microorganismos y Tukey al 5% para las variables con significación estadística. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Identificación	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%								
		Población de actinomicetes (UFC/gss)		Población de solubilizadores de fósforo (UFC/gss)		Población de hongos (UFC/gss)		Población de degradadores de celulosa (UFC/gss)		
		Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)	
c2m1	A. spp. de Bolívar + I. líquida al suelo	5,77x10 <sup>6</sup>	6,74	1,94x10 <sup>6</sup>	6,29	1,77x10 <sup>4</sup>	4,24	a	3,71x10 <sup>5</sup>	5,55
c4m1	A.spp. de Chimborazo + I. líquida al suelo	1,02x10 <sup>7</sup>	7,01	1,23x10 <sup>6</sup>	6,09	1,06x10 <sup>4</sup>	4,02	bc	2,55x10 <sup>5</sup>	5,36
tm1	Testigo	2,08x10 <sup>7</sup>	7,31	8,87x10 <sup>5</sup>	5,95	1,62x10 <sup>4</sup>	4,21	abc	1,54x10 <sup>5</sup>	5,16
c2m2	A.spp. de Bolívar + I. sólida al suelo	3,70x10 <sup>6</sup>	6,48	1,63x10 <sup>6</sup>	6,21	1,51x10 <sup>4</sup>	4,18	abc	3,33x10 <sup>5</sup>	5,48
c4m2	A. spp. de Chimborazo + I. sólida al suelo	4,71x10 <sup>6</sup>	6,63	9,81x10 <sup>5</sup>	5,99	9,81x10 <sup>3</sup>	3,99	bc	3,62x10 <sup>5</sup>	5,56
tm2	Testigo	1,53x10 <sup>7</sup>	7,18	5,69x10 <sup>5</sup>	5,75	1,66x10 <sup>4</sup>	4,22	abc	1,14x10 <sup>5</sup>	5,06
c2m3	A. spp. de Bolívar + I. líquida a la semilla	1,34x10 <sup>6</sup>	6,13	3,36x10 <sup>6</sup>	6,52	8,46x10 <sup>3</sup>	3,92	c	7,54x10 <sup>5</sup>	5,86
c4m3	A.spp. de Chimborazo + I. líquida a la semilla	6,18x10 <sup>6</sup>	6,74	1,57x10 <sup>6</sup>	6,17	1,08x10 <sup>4</sup>	4,03	bc	4,99x10 <sup>5</sup>	5,69
tm3	Testigo	9,57x10 <sup>6</sup>	6,98	1,61x10 <sup>6</sup>	6,20	1,78x10 <sup>4</sup>	4,25	abc	4,20x10 <sup>5</sup>	5,60
c2m4	A. spp. de Bolívar + I. sólida a la semilla	5,39x10 <sup>6</sup>	6,62	2,19x10 <sup>6</sup>	6,33	1,52x10 <sup>4</sup>	4,18	abc	1,12x10 <sup>6</sup>	6,04
c4m4	A. spp. de Chimborazo + I. sólida a la semilla	7,85x10 <sup>6</sup>	6,89	1,46x10 <sup>6</sup>	6,16	8,20x10 <sup>3</sup>	3,91	c	9,29x10 <sup>5</sup>	5,96
tm4	Testigo	1,22x10 <sup>7</sup>	7,09	1,18x10 <sup>6</sup>	6,07	2,24x10 <sup>4</sup>	4,35	ab	6,51x10 <sup>5</sup>	5,81

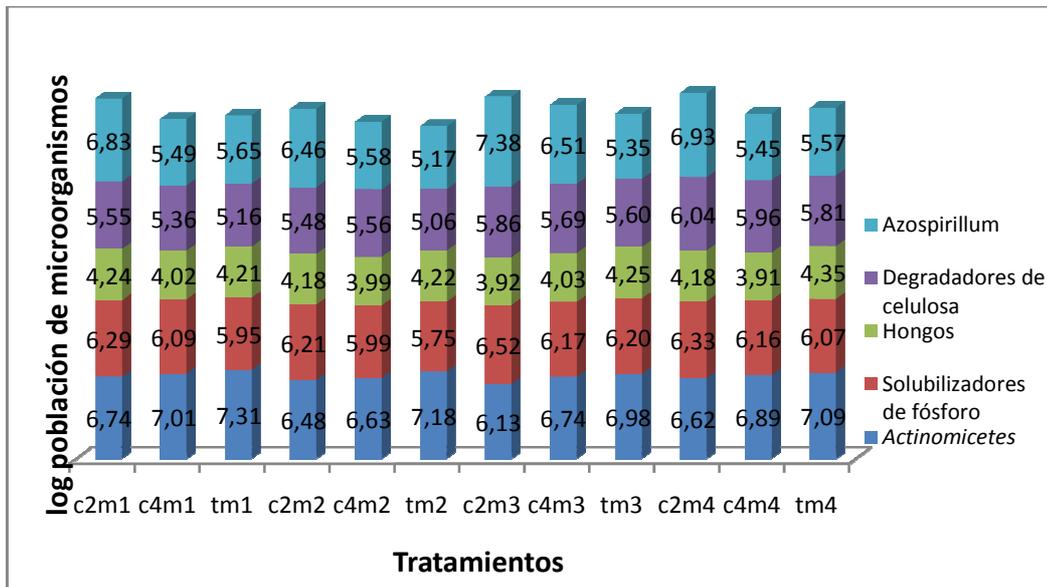
**Tabla 27.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para población final de microorganismos y Tukey al 5% para las variables con significación estadística. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Identificación	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%										
		Población de actinomicetes (UFC/gss)		Población de solubilizadores de fósforo (UFC/gss)		Población de hongos (UFC/gss)		Población de degradadores de celulosa (UFC/gss)				
		Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)	Real (x)	log (x)			
c2m1	A. de Bolívar + I. líquida al suelo	2,07x10 <sup>7</sup>	7,30	d	6,11x10 <sup>5</sup>	5,75	4,00x10 <sup>4</sup>	4,58	a	3,45x10 <sup>5</sup>	5,54	abc
c4m1	A. de Chimborazo + I. líquida al suelo	2,92x10 <sup>7</sup>	7,46	ab	5,98x10 <sup>5</sup>	5,76	2,36x10 <sup>4</sup>	4,35	ab	2,00x10 <sup>5</sup>	5,28	bc
tm1	Testigo	9,51x10 <sup>6</sup>	6,96	cd	4,54x10 <sup>5</sup>	5,63	1,72x10 <sup>4</sup>	4,23	abc	4,65x10 <sup>5</sup>	5,66	abc
c2m2	A. de Bolívar + I. sólida al suelo	1,60x10 <sup>7</sup>	7,20	abcd	6,23x10 <sup>5</sup>	5,65	1,52x10 <sup>4</sup>	4,17	abc	2,35x10 <sup>5</sup>	5,33	bc
c4m2	A. de Chimborazo + I. sólida al suelo	4,36x10 <sup>7</sup>	7,63	a	8,20x10 <sup>5</sup>	5,89	2,20x10 <sup>4</sup>	4,34	ab	4,08x10 <sup>5</sup>	5,59	abc
tm2	Testigo	1,27x10 <sup>7</sup>	7,09	bcd	4,38x10 <sup>5</sup>	5,54	2,54x10 <sup>4</sup>	4,40	a	1,59x10 <sup>5</sup>	5,17	c
c2m3	A. de Bolívar + I. líquida a la semilla	1,42x10 <sup>7</sup>	7,15	bcd	1,33x10 <sup>6</sup>	6,12	6,48x10 <sup>3</sup>	3,79	cde	9,48x10 <sup>5</sup>	5,96	a
c4m3	A. de Chimborazo + I. líquida a la semilla	2,33x10 <sup>7</sup>	7,35	abc	3,04x10 <sup>6</sup>	6,47	9,02x10 <sup>3</sup>	3,95	bc	6,01x10 <sup>5</sup>	5,77	abc
tm3	Testigo	9,16x10 <sup>6</sup>	6,93	cd	2,25x10 <sup>6</sup>	6,34	9,16x10 <sup>3</sup>	3,93	bcd	2,29x10 <sup>5</sup>	5,32	bc
c2m4	A. de Bolívar + I. sólida a la semilla	6,83x10 <sup>6</sup>	6,82	cd	1,75x10 <sup>6</sup>	6,22	9,13x10 <sup>3</sup>	3,91	bcd	7,15x10 <sup>5</sup>	5,77	ab
tm4	Testigo	3,50x10 <sup>7</sup>	7,52	ab	1,01x10 <sup>6</sup>	5,98	2,43x10 <sup>3</sup>	3,38	e	3,51x10 <sup>5</sup>	5,51	abc

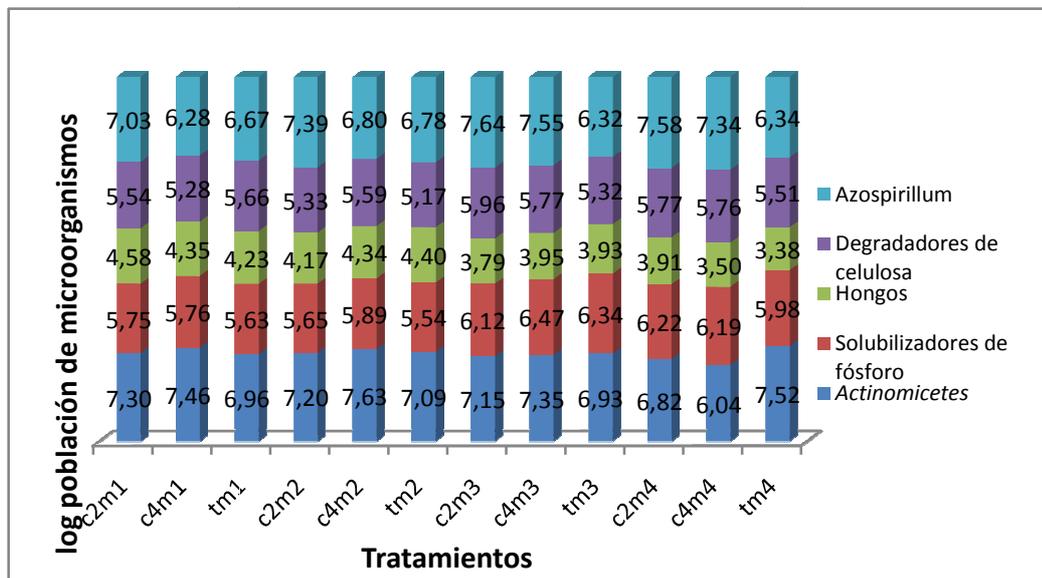
Así, en Amaguaña, la mejor población de actinomicetes fue  $1,34 \times 10^6$  UFC/gss con la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla, que fue el tratamiento que produjo una menor población de este microorganismo; mientras que el testigo produjo un valor mayor que fue de  $2,08 \times 10^7$  UFC/gss. La mejor población de hongos fue  $8,20 \times 10^3$  con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo a la semilla, mientras que el testigo produjo una población de  $2,24 \times 10^4$  UFC/gss. El tratamiento que produjo una mayor población de bacterias solubilizadoras de fósforo fue la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar + a la semilla, que incrementó la población a  $3,36 \times 10^6$  UFC/gss, mientras que el testigo solo produjo  $5,69 \times 10^5$  UFC/gss. La población de bacterias degradadoras de celulosa incrementó con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla a  $1,12 \times 10^6$  UFC/gss y disminuyó con el testigo a  $1,14 \times 10^5$  UFC/gss.

Así, en Quinchuquí, la mejor población de actinomicetes fue  $1,09 \times 10^6$  UFC/gss con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo a la semilla, que fue el tratamiento que produjo una menor población de este microorganismo; mientras que el testigo produjo un valor mayor que fue de  $3,50 \times 10^7$  UFC/gss. La mejor población de hongos fue  $3,29 \times 10^3$  UFC/gss con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. a la semilla), mientras que el testigo produjo una población mayor de  $2,54 \times 10^4$  UFC/gss. La mejor población de bacterias solubilizadoras de fósforo se obtuvo con la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo a la semilla, que incrementó la población a  $3,04 \times 10^6$  UFC/gss, mientras que el testigo disminuyó a  $4,38 \times 10^5$  UFC/gss; la población de bacterias degradadoras de celulosa incrementó con la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla a  $9,48 \times 10^5$  UFC/gss y disminuyó con el testigo a  $1,59 \times 10^5$  UFC/gss.

En las Figuras 12 y 13 se observan los promedios de los tratamientos.



*Figura 12. Histograma de la población de microorganismos en el suelo de Amaguaña al final del ciclo de cultivo de la variedad INIAP 102. Pichincha. 2010.*



*Figura 13. Histograma de la población de microorganismos en el suelo de Quinchuquí al final del ciclo de cultivo de la variedad INIAP 122. Imbabura. 2010.*

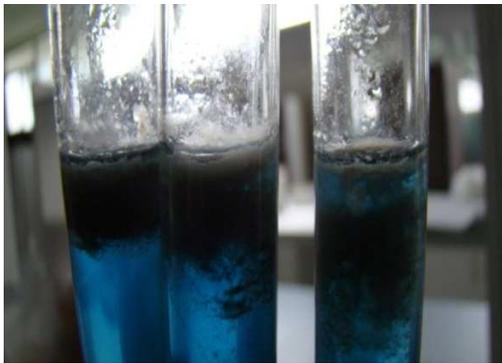
En el análisis correlacional se observó la influencia de la población de *Azospirillum* spp. en la población de microorganismos del suelo, evidenciándose una relación inversamente proporcional con los actinomicetes, es decir, al incrementarse la población de *Azospirillum* spp. disminuyó la población de actinomicetes, existiendo un  $r^2$  (coeficiente de determinación) de 0,64 en Amaguaña y 0,11 en Quinchuquí. Caso similar sucedió con la población de hongos en el suelo que disminuyó con la inoculación de *Azospirillum* spp. y registró un valor de 0,03 en Amaguaña y 0,02 en Quinchuquí. En cuanto a la población de bacterias solubilizadoras de fósforo y degradadoras de celulosa se evidenció una relación directamente proporcional, es decir, que la población de estos microorganismos aumento con la inoculación de *Azospirillum* spp., obteniéndose un  $r^2$  de 0,67 y 0,11 en Amaguaña y 0,23 y 0,45 en Quinchuquí, respectivamente.

Éstos resultados permiten deducir que los microorganismos en estudio tuvieron una acción asociativa y antagonista con la población nativa e inoculada de *Azospirillum* en los suelos donde se ubicaron los ensayos. De hecho, las bacterias degradadoras de celulosa ayudaron al crecimiento de *Azospirillum* spp. al degradar los residuos vegetales del suelo y hacerlos aprovechables por la bacteria y las bacterias solubilizadoras de fósforo inmovilizaron el fósforo del suelo para permitirle a la bacteria fijar el  $N_2$  en forma asociativa. Se reporta que algunos de los actinomicetes y hongos tienen una acción antagonista sobre *Azospirillum* spp., sin embargo este no fue el caso, esto se debió posiblemente a la capacidad que tienen algunas cepas de esta bacteria de producir bacteriocinas y sideróforos para protegerse de otros miembros de la comunidad microbiana e incluso de patógenos de plantas (Caballero, 1998).

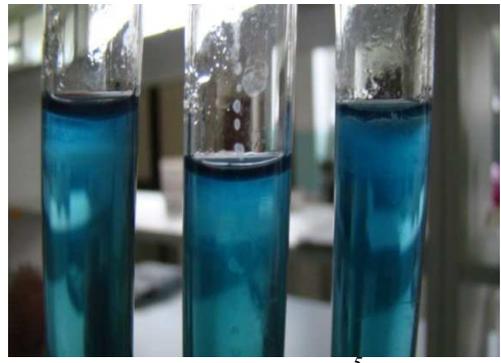
Las propiedades fisiológicas y bioquímicas le permitieron ser un competidor eficaz en la rizósfera, pese a la abrumadora microflora nativa con la capacidad de colonizar las raíces vegetales.

#### 4.1.2 POBLACIÓN DE *Azospirillum* spp. EN MUESTRA DE SUELO.

El asilamiento de *Azospirillum* spp. en medio NFB (Nitrogen Fixation Biological) del suelo de Quinchuquí, se observa en la Figuras 14 y 15. Esta bacteria forma una leve película blanquecina de 2 a 3 mm por debajo de la superficie del medio de cultivo, además el crecimiento de la bacteria cambia el color del medio de cultivo haciendo que este se torne azul, por el viraje del indicador azul de bromothymol.



**Figura 14.** *Azospirillum* spp. en NFB. Dilución  $1 \times 10^1$ .  
Quinchuquí –Imbabura. 2010.



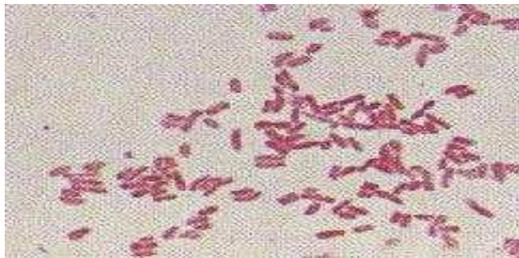
**Figura 15.** *Azospirillum* spp. en NFB. Dilución  $1 \times 10^5$ .  
Quinchuquí –Imbabura. 2010.

En la purificación de *Azospirillum* spp. en Ácido Málico Rojo Congo, se observa que la bacteria toma un color rojo escarlata, debido a que las bacterias reaccionan con el indicador Rojo Congo, que es característico del género. Ver Figura 16.



**Figura 16.** *Azospirillum* spp. en Ácido Málico Rojo Congo. Dilución  $1 \times 10^5$ .  
Quinchuquí – Imbabura. 2010.

Las pruebas bioquímicas dieron como resultado que *Azospirillum* spp. de las dos localidades son Gram negativas, reaccionan positivamente a la prueba de la catalasa, evidenciándose la producción de burbujas por el desprendimiento de O<sub>2</sub>, además que estas bacterias crecen en forma radial desde la zona de inoculación hacia las paredes del tubo, es decir, son mótils. Ver Figuras 17, 18 y 19 para *Azospirillum* spp. en Amaguaña.



**Figura 17.** *Azospirillum* spp. Gram negativa. 100 X.  
Amaguaña – Pichincha. 2010.



**Figura 18.** Reacción de la enzima catalasa en *Azospirillum* spp.  
Amaguaña - Pichincha. 2010



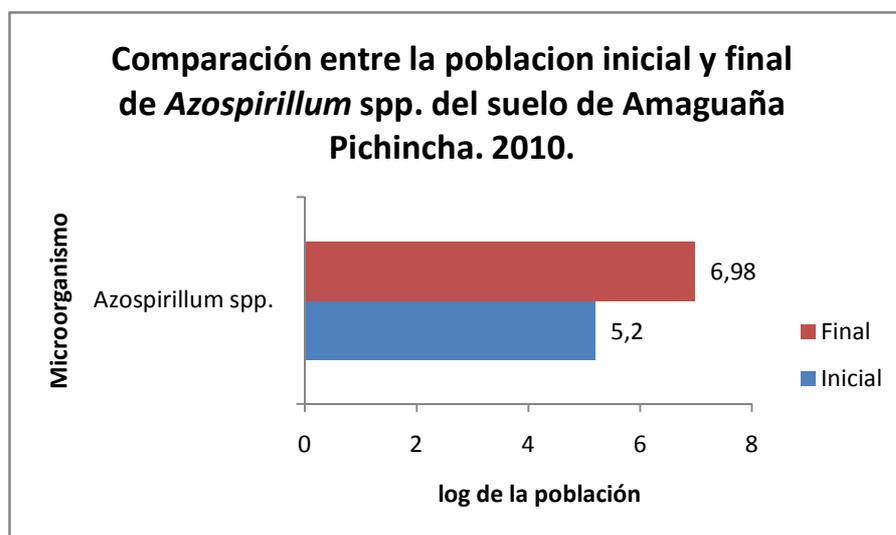
**Figura 19.** Motilidad de *Azospirillum* spp.  
Amaguaña - Pichincha. 2010

En Amaguaña, la población inicial de *Azospirillum* spp., es decir, antes de la inoculación fue  $1,81 \times 10^4$  UFC/gss y al final del ciclo de cultivo fue  $5,46 \times 10^6$  UFC/gss. Los datos se aprecian en la Tabla 28. Ver Figura 20.

En Quinchuquí, la población inicial de esta bacteria fue  $1,59 \times 10^5$  UFC/gss y al final del ciclo de cultivo fue  $1,87 \times 10^7$ . Los resultados se aprecian en la Tabla 29. Ver Figura 21.

**Tabla 28.** Comparación entre la población inicial y final de *Azospirillum* spp. en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010

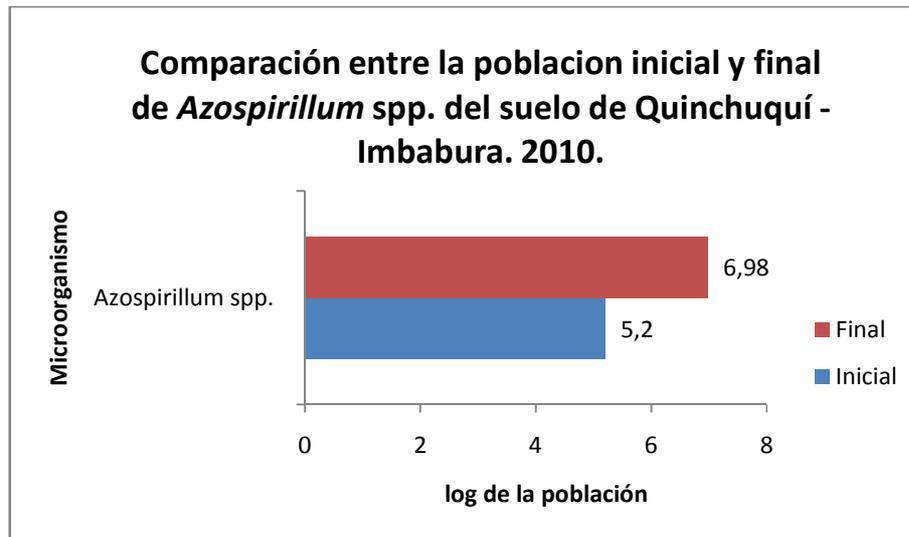
<b>Localidad</b>	<b><i>Azospirillum</i> spp.</b>	
<b>Amaguaña</b>	<b>Población inicial</b>	<b>Población Final</b>
<b>x (UFC/gss)</b>	1,81x10 <sup>4</sup>	5,46x10 <sup>6</sup>
<b>Log x</b>	4,26	6,03



**Figura 20.** Histograma de la población inicial y final de microorganismos en el suelo de Amaguaña – Pichincha. 2010

**Tabla 29.** Comparación entre la población inicial y final de *Azospirillum* spp. en el suelo de Quinchuquí - Imbabura. 2010

<b>Localidad</b>	<b><i>Azospirillum</i> spp.</b>	
<b>Quinchuquí</b>	<b>Población inicial</b>	<b>Población Final</b>
<b>x (UFC/gss)</b>	1,59x10 <sup>5</sup>	1,81x10 <sup>7</sup>
<b>Log x</b>	5,20	6,98



*Figura 21. Histograma de la población inicial y final de microorganismos en el suelo de Quinchuquí - Imbabura. 2010*

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 30, se observó para el factor A significación estadística, el factor B presentó alta significación estadística y la interacción no presentó significación estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 31, para el factor A, no se observó significancia estadística; para B y la interacción A x B se observó alta significancia estadística.

**Tabla 30.** Análisis de Varianza para población final de *Azospirillum* spp. en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña – Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA		
	Grados de Libertad	Población de <i>Azospirillum</i> spp. (UFC/gss)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,79	
<b>FACTOR A</b>	3	0,71	*
<b>ERROR A</b>	6	0,17	
<b>FACTOR B</b>	2	7,14	**
<b>INTERACCIÓN AxB</b>	6	0,31	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,19	
<b>Promedio final (UFC/gss)</b>		5,46x10 <sup>6</sup>	
<b>Promedio Transformado Log (x)</b>		6,03	
<b>Coefficiente de variación A (%):</b>		6,86	
<b>Coefficiente de variación B (%):</b>		7,20	

\* : Significativo al 5%.

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 31.** Análisis de Varianza para población final de *Azospirillum* spp. en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	CUADRADOS MEDIOS Y		
	Grados de	Población de <i>Azospirillum</i> spp. (UFC/gss)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,04	
<b>FACTOR A</b>	3	0,45	ns
<b>ERROR A</b>	6	0,12	
<b>FACTOR B</b>	2	2,34	**
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,45	**
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,10	
<b>Promedio final (UFC/gss)</b>		1,81x10 <sup>7</sup>	
<b>Promedio Transformado Log (x)</b>		6,98	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		4,96	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		4,61	

\* : Significativo al 5%.

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

### **Prueba de Tukey al 5% para el Factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.).**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para el factor A, con INIAP 102, Tabla 32, en primer rango se ubicó m3 (método de inoculación líquido a la semilla) y en último rango m2 (método de inoculación sólido al suelo).

**Tabla 32.** Promedios del factor A para población final de *Azospirillum* spp. y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%		
		Población de <i>Azospirillum</i> spp. (UFC/gss)		
		Real (x)	log (x)	
m1	Inoculación líquida al suelo	2,65x10 <sup>6</sup>	5,99	ab
m2	Inoculación sólida al suelo	1,51x10 <sup>6</sup>	5,74	b
m3	Inoculación líquida a la semilla	1,19x10 <sup>7</sup>	6,41	a
m4	Inoculación sólida a la semilla	5,83x10 <sup>6</sup>	5,99	ab

**Prueba DMS (Diferencia Mínima Significativa) al 5% para el Factor B (cepas de *Azospirillum* spp.).**

Al realizar la prueba DMS (Diferencia Mínima Significativa) al 5% para el factor B, con INIAP 102 e INIAP 122, Tablas 33 y 34, respectivamente, se pudo notar con INIAP 102 a c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar) ubicarse en primer rango de significación y en último rango a c4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo) y t (testigo); mientras que con INIAP 122 se ubicó en último rango t (testigo).

**Tabla 33.** Promedios del factor B para población de *Azospirillum* spp. y DMS al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación de DMS al 5%		
			Población <i>Azospirillum</i> spp. (UFC/gss)		
			Real (x)	log (x)	
c2	<i>Azospirillum</i> spp.	Bolívar	1,47x10 <sup>7</sup>	6,90	a
c4	<i>Azospirillum</i> spp.	Chimborazo	1,29x10 <sup>6</sup>	5,76	b
t	Testigo	Testigo	4,29x10 <sup>5</sup>	5,43	b

**Tabla 34.** Promedios del factor B para población de *Azospirillum* spp. y DMS al 5%.  
Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación de DMS al 5% Población de <i>Azospirillum</i> spp. (UFC/gss)		
			Real (x)	log (x)	
c2	<i>Azospirillum</i> spp.	Bolívar	$3,11 \times 10^7$	7,41	a
c4	<i>Azospirillum</i> spp.	Chimborazo	$1,91 \times 10^7$	6,99	b
t	Testigo	Testigo	$4,10 \times 10^6$	6,53	c

**Prueba de Tukey al 5% para la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.)**

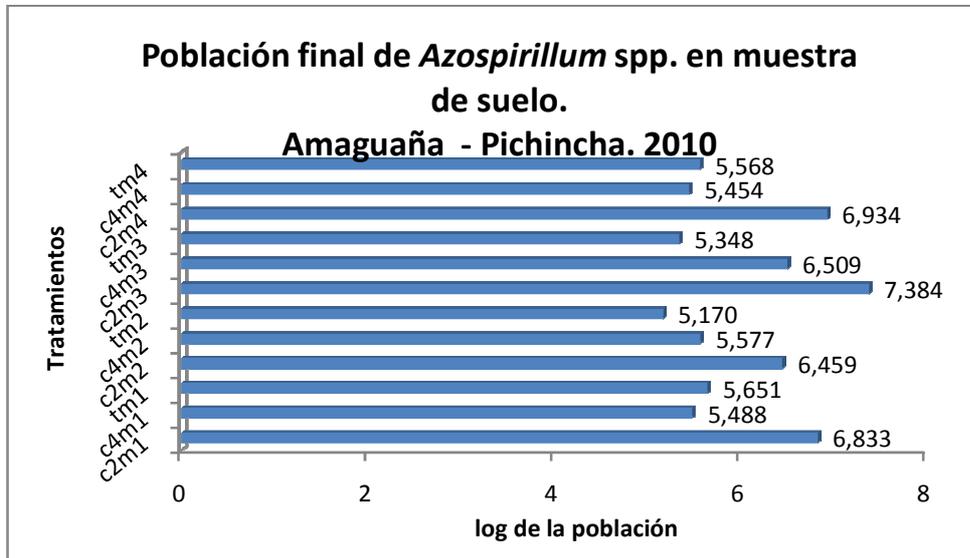
En Quinchuquí, con INIAP 122, Tabla 35, c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) tuvo el mayor promedio que fue de  $4,36 \times 10^7$  UFC/gss; mientras que con c4m1 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo + método de inoculación líquido al suelo) se obtuvo  $2,21 \times 10^6$  UFC/gss.

**Tabla 35.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para población de *Azospirillum* spp. y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

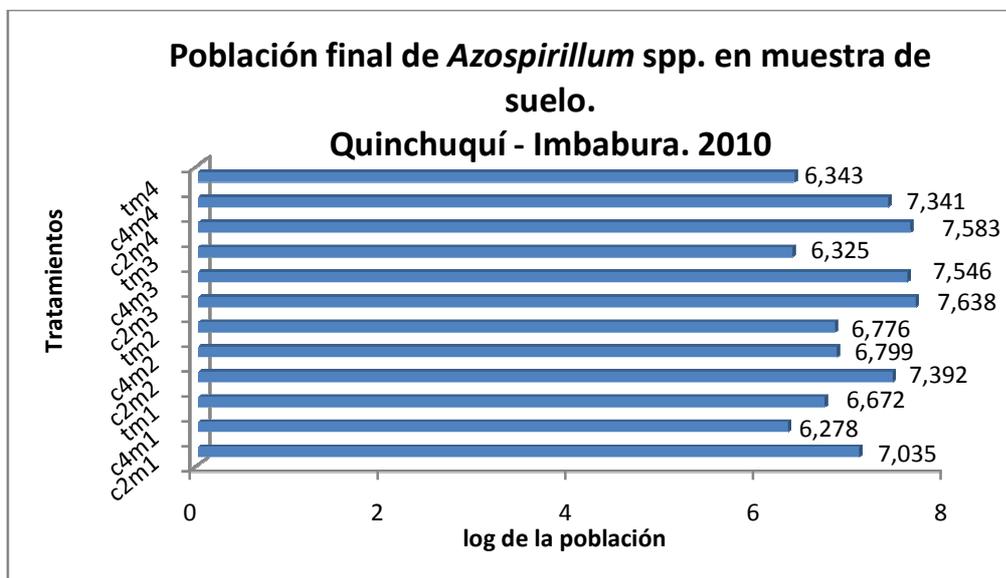
Código	Identificación	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%		
		Población de <i>Azospirillum</i> spp. (UFC/gss)		
		Real (x)	log (x)	
c2m1	<i>Azospirillum</i> spp. de Bolívar + Inoculación líquida al suelo	1,67x10 <sup>7</sup>	7,03	a
c4m1	<i>Azospirillum</i> de Chimborazo + Inoculación líquida al suelo	2,21x10 <sup>6</sup>	6,28	b
tm1	Testigo	4,78x10 <sup>6</sup>	6,67	ab
c2m2	<i>Azospirillum</i> de Bolívar + Inoculación sólida al suelo	2,54x10 <sup>7</sup>	7,39	a
c4m2	<i>Azospirillum</i> de Chimborazo + Inoculación sólida al suelo	1,07x10 <sup>7</sup>	6,80	ab
tm2	Testigo	6,56x10 <sup>6</sup>	6,78	ab
c2m3	<i>Azospirillum</i> de Bolívar + Inoculación líquida a la semilla	4,36x10 <sup>7</sup>	7,64	a
c4m3	<i>Azospirillum</i> de Chimborazo + Inoculación líquida a la semilla	3,57x10 <sup>7</sup>	7,55	a
tm3	Testigo	2,80x10 <sup>6</sup>	6,32	b
c2m4	<i>Azospirillum</i> de Bolívar + Inoculación sólida a la semilla	3,85x10 <sup>7</sup>	7,58	a
tm4	Testigo	2,25x10 <sup>6</sup>	6,34	b

Así, la población de *Azospirillum* spp. en el suelo de Amaguaña, antes de la inoculación fue 1,81x10<sup>4</sup> UFC/gss y al final del ciclo de cultivo alcanzó 3,17x10<sup>7</sup> UFC/gss con la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla; mientras que con tm3 (testigo) solo se obtuvo una población de 3,43x10<sup>5</sup> UFC/gss. En Quinchuquí, la población de la bacteria incrementó de 1,59x10<sup>5</sup> UFC/gss a 4,36x10<sup>7</sup> UFC/gss con el mismo tratamiento, mientras que con el testigo solo fue de

2,80x10<sup>6</sup> UFC/gss. Los promedios de cada tratamiento se aprecian en las Figuras 22 y 23.



*Figura 22. Histograma de la población final de *Azospirillum* spp. en el suelo de Amaguaña – Pichincha. 2010.*



*Figura 23. Histograma de la población final de *Azospirillum* spp. en el suelo de Quinchuquí. 2010.*

Estos resultados indican que el método de inoculación líquido a la semilla tuvo éxito y por tanto se realizó la asociación de la bacteria con las raíces de la planta de maíz. La cepa c2 resultó ser la más competitiva con los microorganismos del suelo, logrando multiplicarse y colonizar las raíces del maíz, debido a su versatilidad metabólica y su capacidad para adaptarse al medio rizosférico. Los estudios de sobrevivencia de *Azospirillum* spp. en su nicho ecológico demuestran que este microorganismo sobrevive por periodos prolongados de tiempo en suelos asociados a las plantas y solo el tamaño de la población puede llegar a variar (Bashan, *et al.*, 1995).

Debido a que esta efectividad está fuertemente afectada por las condiciones del medio ambiente edáfico, se controlaron las variaciones de pH, humedad y materia orgánica en los suelos de Amaguaña y Quinchuquí al inicio y al final de la investigación utilizando los métodos ya conocidos.

#### **4.1.3 PORCENTAJE DE EMERGENCIA.**

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 36, el factor A presentó alta significación estadística; mientras que el factor B y la interacción A x B no presentaron significación estadística.

En Quinchuquí, Tabla 37, se observó, para el factor A, alta significación estadística; para el factor B, significación estadística; mientras que para la interacción A x B no existió significación estadística.

**Tabla 36.** Análisis de Varianza para porcentaje de emergencia en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Porcentaje de emergencia (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	36,29	
<b>FACTOR A</b>	3	151,91	*
<b>ERROR A</b>	6	47,22	
<b>FACTOR B</b>	2	63,73	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	51,41	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	21,91	
<b>Promedio</b>		87,04	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,65	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,42	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		7,89	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		5,38	

\* : Significativo al 5%.

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz.

**Tabla 37.** Análisis de Varianza para porcentaje de emergencia en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Porcentaje de emergencia (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	18,96	
<b>FACTOR A</b>	3	464,96	**
<b>ERROR A</b>	6	47,53	
<b>FACTOR B</b>	2	252,72	*
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	14,57	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	50,54	
<b>Promedio</b>		82,05	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,59	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,34	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		8,40	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		8,66	

\* : Significativo al 5%.

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz.

**Prueba de Tukey al 5% para el factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.).**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para el factor A, en Amaguaña, Tabla 38 y en Quinchuquí, Tabla 39, en primer rango se ubicó m3 (método de inoculación líquido a la semilla) y en el último rango en Amaguaña, se ubicó m2 (método de inoculación sólido al suelo) y m4 (método de inoculación sólido a la semilla); mientras que en Quinchuquí, se ubicó m2 (método de inoculación sólido al suelo).

**Tabla 38.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para porcentaje de emergencia y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Porcentaje de emergencia (%)	
m1	Inoculación líquida al suelo	87,65	ab
m2	Inoculación sólida al suelo	83,54	b
m3	Inoculación líquida a la semilla	92,59	a
m4	Inoculación sólida a la semilla	84,36	b

**Tabla 39.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para porcentaje de emergencia y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Porcentaje de emergencia (%)	
m1	Inoculación líquida al suelo	78,19	bc
m2	Inoculación sólida al suelo	74,28	c
m3	Inoculación líquida a la semilla	90,33	a
m4	Inoculación sólida a la semilla	85,39	ab

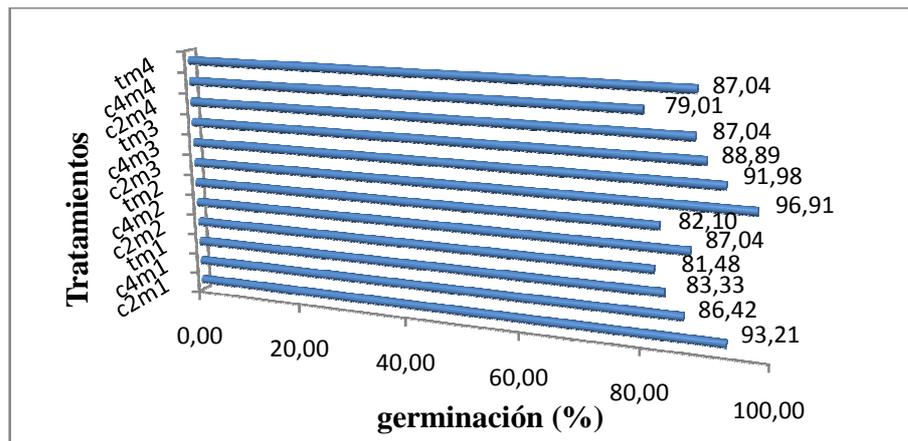
**Prueba de DMS (Diferencia Mínima Significativa) al 5% para el factor B (cepas de *Azospirillum* spp.).**

En Quinchuquí, se realizó la prueba DMS al 5% para el factor B, Tabla 40, donde se observó a c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar) ubicarse en primer rango y t (testigo) en último rango.

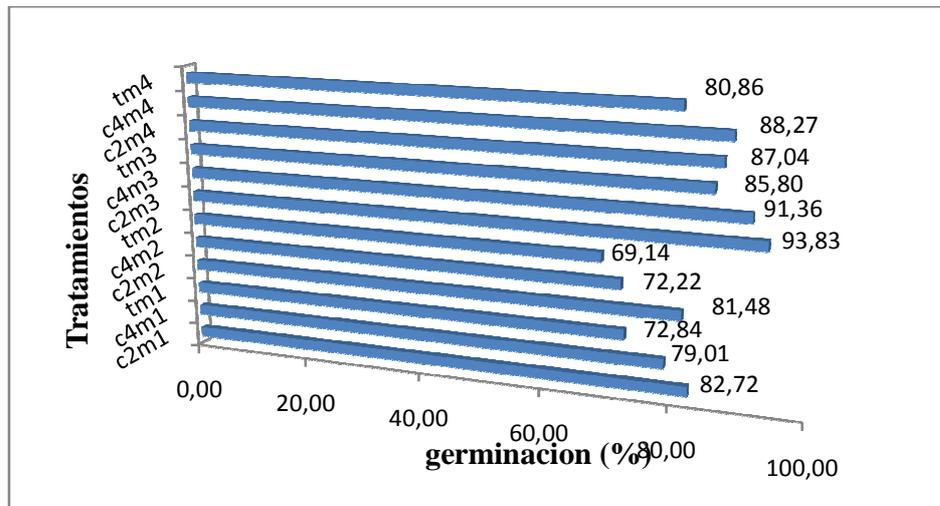
**Tabla 40.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para porcentaje de emergencia y DMS al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación de DMS	
			Porcentaje de emergencia (%)	
c2	<i>Azospirillum</i> spp.	Bolívar	86,27	a
c4	<i>Azospirillum</i> spp.	Chimborazo	82,72	ab
T	Testigo	Testigo	77,16	b

Los tratamientos presentaron una emergencia temprana en relación al testigo debido a una fuerte asociación planta-bacteria luego de la inoculación. Evaluaciones realizadas por el Programa de maíz demuestran que el porcentaje de germinación de las variedades del INIAP es alto, considerándose un valor aceptable 95% y con el empleo de los biofertilizantes el porcentaje de germinación fue mayor. Así, la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla en Amaguaña incrementó la emergencia de la semilla INIAP 102 en un 96,91%, a diferencia al testigo que incrementó en un 82,10%. En Quinchuquí, la emergencia de la semilla INIAP 122 fue de 93,83% con el mismo tratamiento y con el testigo únicamente se obtuvo un 69,14%. Los resultados se aprecian mejor en las Figuras 24 y 25.



**Figura 24.** Histograma del porcentaje de germinación de la variedad INIAP 102. Amaguaña – Pichincha.2010.



**Figura 25.** Histograma del porcentaje de germinación de la variedad INIAP 122. Quinchuquí – Imbabura.2010.

El análisis correlacional reveló que la población de la bacteria introducida con los métodos de inoculación influyeron positivamente en la emergencia de las semillas de maíz, donde, se obtuvo un  $r^2$  de 0,42 en Amaguaña y 0,34 en Quinchuquí.

Se concluye con el concepto de Kloepper, *et al.*, (1991), el que manifiesta que algunas bacterias productoras de auxinas y giberelinas pueden incrementar la emergencia de semillas vegetales por lo cual, también se conocen como bacterias promotoras de emergencia, dentro de ellas se encuentra *Azospirillum brasilense*.

#### 4.1.4 ALTURA DE PLANTA.

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 41, para los factores A, B e interacción A x B existió alta diferencia estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 42, se observó que el factor A, presentó significación estadística; B, alta significación estadística y la interacción A x B no presentó significación estadística.

**Tabla 41.** Análisis de Varianza para altura de planta en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Altura de planta (cm)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	2,11	
<b>FACTOR A</b>	3	1252,25	**
<b>ERROR A</b>	6	76,44	
<b>FACTOR B</b>	2	1762,11	**
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	435,00	**
<b>ERROR EXP.</b>	16	73,82	
<b>Promedio</b>		218,53	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,71	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,51	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		4,00	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		3,93	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 42.** Análisis de Varianza para altura de planta en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Altura de planta (cm)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	<u>92,36</u>	
<b>FACTOR A</b>	3	<u>875,19</u>	*
<b>ERROR A</b>	6	<u>124,32</u>	
<b>FACTOR B</b>	2	<u>2505,53</u>	**
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	<u>367,27</u>	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	<u>230,83</u>	
<b>Promedio</b>		212,78	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,66	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,56	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		5,24	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		7,14	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Prueba de Tukey al 5% para el factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para el factor A, en Amaguaña, Tabla 43, se pudo observar en primer rango a m1 (método de inoculación líquido al suelo), m3 (método de inoculación líquido a la semilla) y m4 (método de inoculación sólido a la semilla); mientras que en el último rango se ubica m2 (método de inoculación sólido al suelo).

En Quinchuquí, Tabla 44, en primer rango se encontró a m4 (método de inoculación sólido a la semilla) y en último a m2 (método de inoculación sólido al suelo).

**Tabla 43.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para altura de planta y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Altura de planta (cm)	
m1	Inoculación líquida al suelo	222,11	a
m2	Inoculación sólida al suelo	201,11	b
m3	Inoculación líquida a la semilla	227,11	a
m4	Inoculación sólida a la semilla	223,78	a

**Tabla 44.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para altura de planta y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Altura de planta (cm)	
m1	Inoculación líquida al suelo	209,11	ab
m2	Inoculación sólida al suelo	201,56	b
m3	Inoculación líquida a la semilla	215,67	ab
m4	Inoculación sólida a la semilla	224,78	a

**Prueba DMS (Diferencia Mínima Significativa) al 5% para el factor B (cepas de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba DMS al 5% para el factor B, en Amaguaña, Tabla 45, se pudo observar en primer rango a c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar) y en último rango t (testigo) y en Quinchuquí, Tabla 46, se observó en primer rango de

significación a c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar) y en último rango a c4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo) y t (testigo).

**Tabla 45.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de planta y DMS al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación de DMS al 5%	
			Altura de planta (cm)	
c2	<i>Azospirillum</i> spp.	Bolívar	230,08	a
c4	<i>Azospirillum</i> spp.	Chimborazo	219,58	b
t	Testigo	Testigo	205,92	c

**Tabla 46.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de planta y DMS al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación de DMS al 5%	
			Altura de planta (cm)	
c2	<i>Azospirillum</i> spp.	Bolívar	228,00	a
c4	<i>Azospirillum</i> spp.	Chimborazo	211,08	b
t	Testigo	Testigo	199,25	b

**Prueba de Tukey al 5% para el factor A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.).**

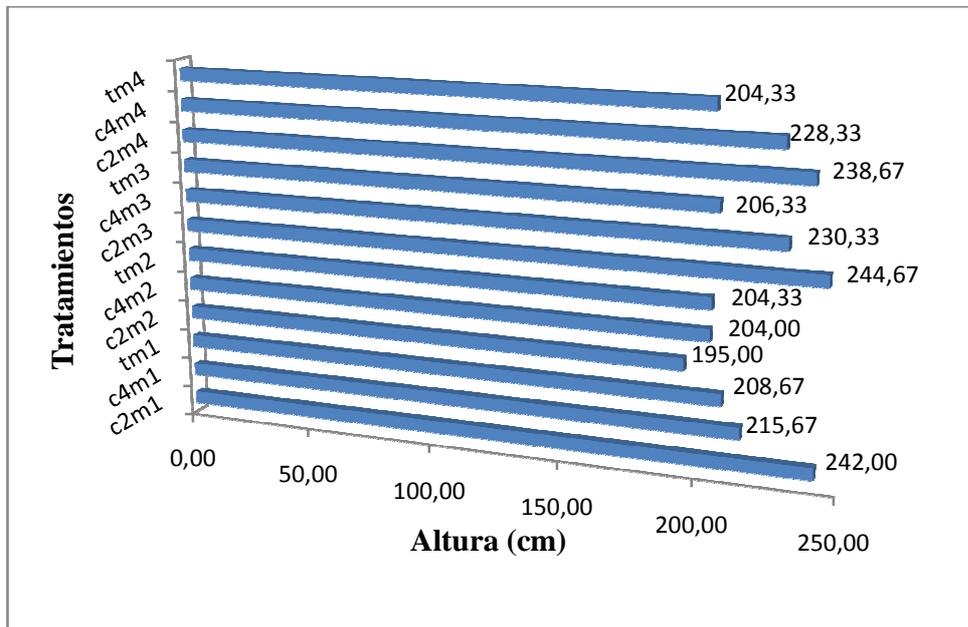
Al realizar la prueba de Tukey al 5% para la interacción A x B, en Amaguaña, Tabla 47, se observó a c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) con un mayor promedio de 244,67 cm y c2m2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación sólido al suelo) con un promedio menor de 195 cm. En Quinchuquí al no haber diferencia significativa, no se realizó la prueba de Tukey.

**Tabla 47.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de planta y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

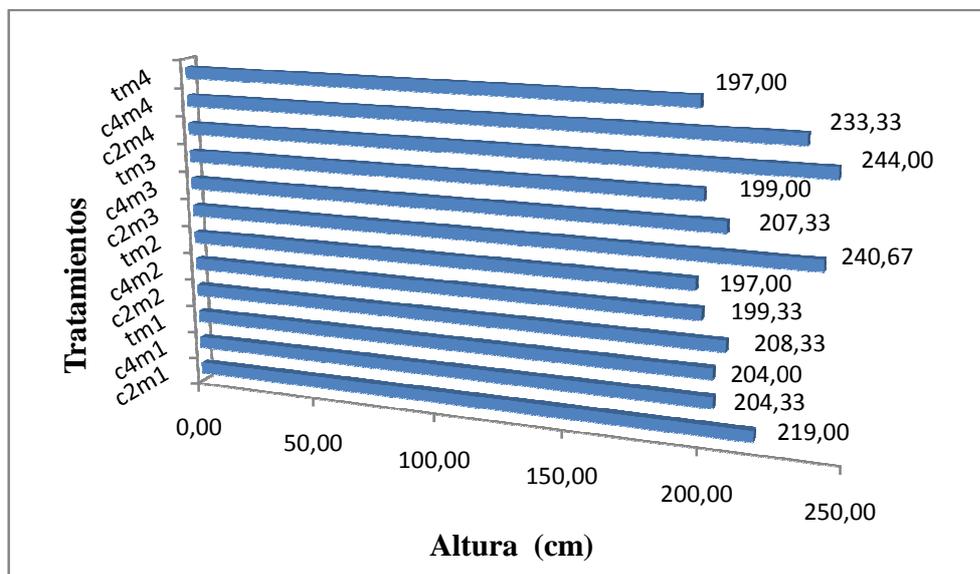
Código	Identificación	Promedios y Rangos de significación	
		Altura de planta (cm)	
c2m1	A. de Bolívar + Inoculación líquida al suelo	242,00	ab
c4m1	A. de Chimborazo + Inoculación líquida al suelo	215,67	bcd
tm1	Testigo	208,67	cd
c2m2	A. de Bolívar + Inoculación sólida al suelo	195,00	d
c4m2	A. de Chimborazo + Inoculación sólida al suelo	204,00	cd
tm2	Testigo	204,33	cd
c2m3	A. de Bolívar + Inoculación líquida a la semilla	244,67	a
c4m3	A. de Chimborazo + Inoculación líquida a la semilla	230,33	abc
tm3	Testigo	206,33	cd
c2m4	A. de Bolívar + Inoculación sólida a la semilla	238,67	ab
c4m4	A. de Chimborazo + Inoculación sólida a la semilla	228,33	abc
tm4	Testigo	204,33	cd

La altura de las plantas de maíz de la variedad INIAP 102 es 238 cm y de INIAP 122 es 250 cm. Así, la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla, en Amaguaña incrementó la altura de INIAP 102 a 244,67 cm, a diferencia del testigo que incrementó a 204,33 cm. En Quinchuquí, la altura de planta fue de 244 cm con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla y con el testigo solo llegó a 197 cm.

Los resultados se aprecian mejor en las Figuras 26 y 27.



*Figura 26. Histograma de la altura de la planta de maíz, de la variedad INIAP 102. Amaguaña – Pichincha.2010.*



*Figura 27. Histograma de la altura de la planta de maíz, de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura.2010.*

En el análisis correlacional, se muestra que la altura de las plantas de maíz fue influenciada por la población de *Azospirillum* spp, introducida a través de métodos de inoculación, obteniéndose un  $r^2$  de 0,51 y 0,56 en Amaguaña y Quinchuquí, respectivamente.

Las hormonas de crecimiento auxinas, giberelinas y citoquininas sintetizadas por *Azospirillum* spp. tuvieron un efecto positivo en las plantas de maíz, al permitir el crecimiento apical de la misma, inducir el alargamiento del tallo y la formación y desarrollo de todos los órganos vegetativos (Bashan, *et al.*, 1995).

#### **4.1.5 ALTURA DE INSERCIÓN DE MAZORCA EN LA PLANTA.**

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 48, se observó que para los factores A y B existió alta diferencia significativa, y para la interacción A x B existió significación estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 49, se observó que para los factores A, B y para la interacción A x B existe alta significación estadística.

**Tabla 48.** Análisis de Varianza para altura de inserción de mazorca en planta, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Altura de inserción de mazorca (cm)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	10,58	
<b>FACTOR A</b>	3	256,32	**
<b>ERROR A</b>	6	6,32	
<b>FACTOR B</b>	2	1365,25	**
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	25,10	*
<b>ERROR EXP.</b>	16	6,35	
<b>Promedio</b>		122,08	
<b>Coefficiente de correlación r</b>		0,91	
<b>Coefficiente r<sup>2</sup></b>		0,84	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		2,06	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		2,06	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 49.** Análisis de Varianza para altura de inserción de mazorca en planta, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Altura de inserción de mazorca (cm)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	3,25	
<b>FACTOR A</b>	3	568,32	**
<b>ERROR A</b>	6	8,66	
<b>FACTOR B</b>	2	1693,58	**
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	155,55	**
<b>ERROR EXP.</b>	16	27,18	
<b>Promedio</b>		114,92	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,88	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,55	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		2,56	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		4,54	

**Prueba de Tukey al 5% para el factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para el factor A, en la localidad de Amaguaña, Tabla 50, se pudo observar en primer rango m3 (método de inoculación líquido a la semilla), mientras que en el último rango se ubica m2 (método de inoculación sólido al suelo). En Quinchuquí, con INIAP, 122, Tabla 51, en primer rango estuvieron m1 (método de inoculación líquido a la semilla), m3 (método de inoculación líquido a la semilla) y m4 (método de inoculación sólido a la semilla), mientras que en último rango se encontró m2 (método de inoculación sólido al suelo).

**Tabla 50.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Altura de inserción de mazorca (cm)	
m1	Inoculación líquida al suelo	120,11	b
m2	Inoculación sólida al suelo	116,33	c
m3	Inoculación líquida a la semilla	129,00	a
m4	Inoculación sólida a la semilla	122,89	b

**Tabla 51.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Altura de inserción de mazorca (cm)	
m1	Inoculación líquida al suelo	115,33	a
m2	Inoculación sólida al suelo	103,56	b
m3	Inoculación líquida a la semilla	120,00	a
m4	Inoculación sólida a la semilla	120,78	a

**Prueba DMS (Diferencia Mínima Significativa) al 5% para el factor B (cepas de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba de DMS al 5%, en Amaguaña, Tabla 52 y en Quinchuquí, Tabla 53, para el factor B (cepas de *Azospirillum* spp.), se pudo observar en primer rango a c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar) y en último rango t (testigo).

**Tabla 52.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y DMS al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación DMS al 5%	
			Altura de inserción de mazorca (cm)	
c2	<i>Azospirillum</i> spp.	Bolívar	133,25	a
c4	<i>Azospirillum</i> spp.	Chimborazo	121,00	b
T	Testigo	Testigo	112,00	c

**Tabla 53.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y DMS al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación DMS al 5%	
			Altura de inserción de mazorca (cm)	
c2	<i>Azospirillum</i> spp.	Bolívar	128,08	a
c4	<i>Azospirillum</i> spp.	Chimborazo	111,67	b
t	Testigo	Testigo	105,00	c

**Prueba de Tukey al 5% para la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para la interacción A x B, en Amaguaña, Tabla 54, se observó a c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) ubicarse con un promedio de 139,67 cm y tm2 (testigo) con un promedio de 108 cm. En Quinchuquí, Tabla 55, se observa con mayor promedio a c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) con 137,33 cm y con menor promedio a c4m2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo + método de inoculación sólido al suelo) con 101 cm.

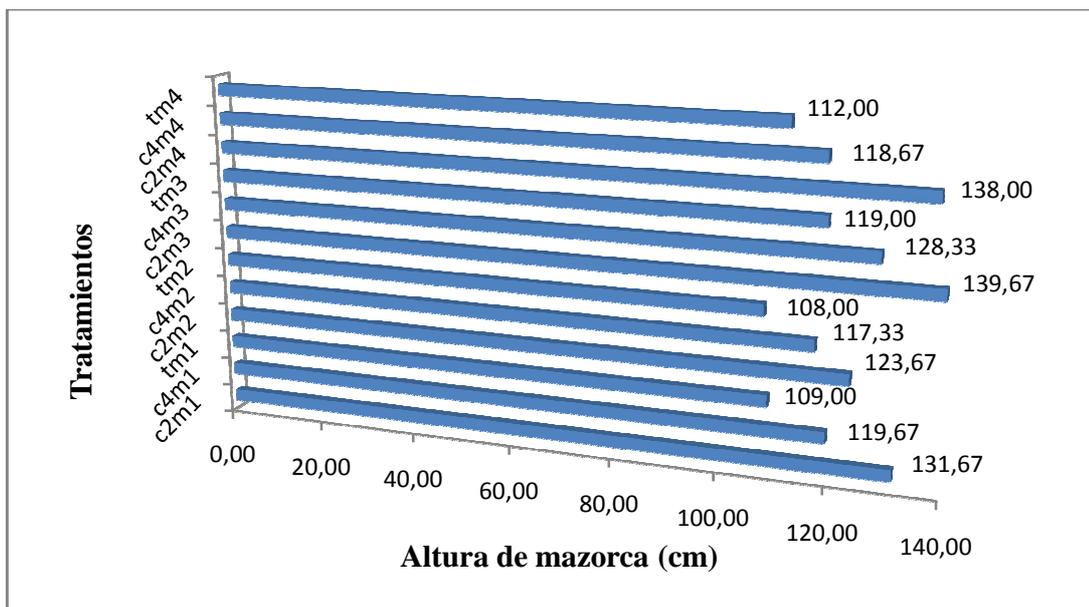
**Tabla 54.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Identificación	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Altura de inserción de mazorca	
c2m1	A. de Bolívar + Inoculación líquida al suelo	131,67	bc
c4m1	A. de Chimborazo + Inoculación líquida al suelo	119,67	ef
tm1	Testigo	109,00	g
c2m2	A. de Bolívar + Inoculación sólida al suelo	123,67	de
c4m2	A. de Chimborazo + Inoculación sólida al suelo	117,33	ef
tm2	Testigo	108,00	g
c2m3	A. de Bolívar + Inoculación líquida a la semilla	139,67	a
c4m3	A. de Chimborazo + Inoculación líquida a la semilla	128,33	cd
tm3	Testigo	119,00	ef
c2m4	A. de Bolívar + Inoculación sólida a la semilla	138,00	ab
c4m4	A. de Chimborazo + Inoculación sólida a la semilla	118,67	ef
tm4	Testigo	112,00	gf

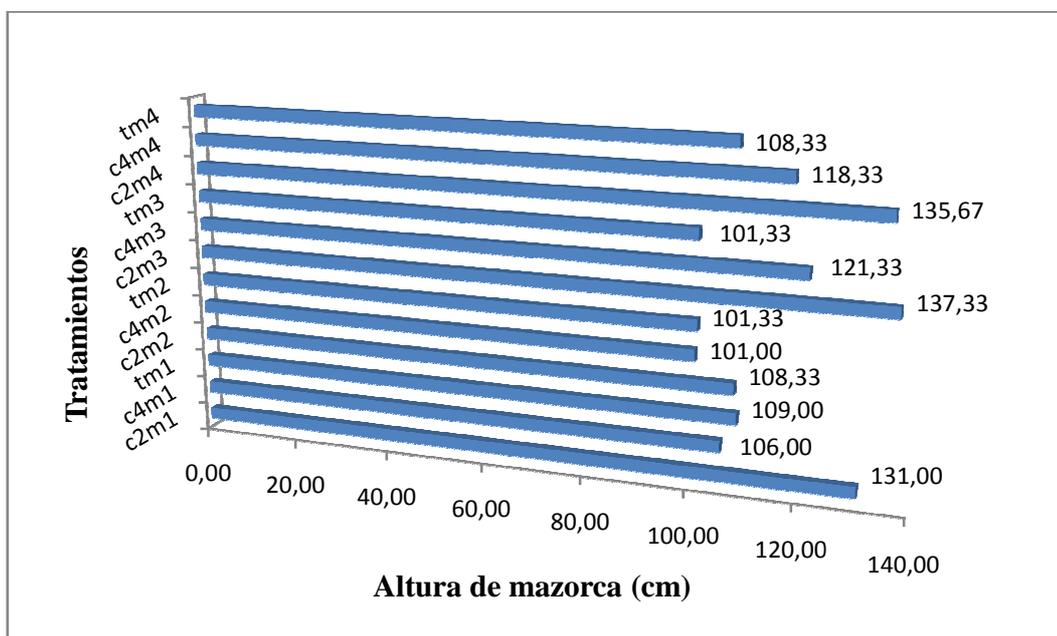
**Tabla 55.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para altura de inserción de mazorca en planta y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Identificación	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Altura de inserción de mazorca (cm)	
	A. de Bolívar + Inoculación líquida al suelo	<u>131,00</u>	ab
c4m1	A. de Chimborazo + Inoculación líquida al suelo	<u>106,00</u>	cd
tm1	Testigo	<u>109,00</u>	cd
c2m2	A. de Bolívar + Inoculación sólida al suelo	<u>108,33</u>	cd
c4m2	A. de Chimborazo + Inoculación sólida al suelo	<u>101,00</u>	d
tm2	Testigo	<u>101,33</u>	d
c2m3	A. de Bolívar + Inoculación líquida a la semilla	<u>137,33</u>	a
c4m3	A. de Chimborazo + Inoculación líquida a la semilla	<u>121,33</u>	abc
tm3	Testigo	<u>101,33</u>	d
c2m4	A. de Bolívar + Inoculación sólida a la semilla	<u>135,67</u>	a
c4m4	A. de Chimborazo + Inoculación sólida a la semilla	<u>118,33</u>	cd
tm4	Testigo	<u>108,33</u>	cd

La altura de inserción de mazorca en la planta de la variedad INIAP 102 es de 130 cm y de la variedad INIAP 122 es 140 cm (<sup>ab</sup> Silva, *et al.*, 2000). Así, la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla en Amaguaña incrementó la altura de inserción de INIAP 102 en la planta a 139,67 cm, a diferencia al testigo que incrementó a 108 cm. En Quinchuquí, la altura de inserción de INIAP 122 en la planta fue de 137,33 cm con el mismo tratamiento y el testigo solo produjo 101cm. En las Figuras 28 y 29, se aprecian los resultados por tratamiento, de cada localidad.



**Figura 28.** Histograma de la altura de mazorca en la planta de maíz, de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.



**Figura 29.** Histograma de la altura de mazorca en la planta de maíz, de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura. 2010.

En el análisis correlacional se puede ver que la altura de mazorca es fuertemente dependiente de la población de *Azospirillum* spp. introducida al suelo por los métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.; los datos correlacionados arrojan un  $r^2$  de 0,84 y 0,55 en Amaguaña y Quinchuquí, respectivamente.

Estos valores indican que *Azospirillum* spp., es responsable de promover el crecimiento de todos los órganos vegetativos de la planta, donde, la altura de inserción de mazorca, tienen estricta relación, con la altura de planta, es decir, a mayor altura de planta, mayor altura de inserción de mazorca (Salazar, 1990).

Es necesario recalcar que una menor altura de inserción de mazorca facilita la cosecha al agricultor. Sin embargo, desde el punto de vista fisiológico, la importancia de la ubicación de la mazorca radica en que, al estar situada en la parte superior, la planta estuvo expuesta mayormente a la luz, donde la tasa de acumulación de materia seca incrementó y por tanto la calidad del grano (Ritchie, *et al.*, 2003).

#### **4.1.6 DAÑO A LA MAZORCA POR EL GUSANO DE LA MAZORCA (*Heliothis zea*).**

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 56, se observó que para los factores A, B y para la interacción A x B no existió significación estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 57, se observó que para los factores A, B y para la interacción A x B no existió significación estadística.

**Tabla 56.** Análisis de Varianza para daño a la mazorca por *Heliothis zea*, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Daño a la mazorca por <i>Heliothis zea</i> (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,06	
<b>FACTOR A</b>	3	0,08	ns
<b>ERROR A</b>	6	0,08	
<b>FACTOR B</b>	2	0,01	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,11	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,10	
<b>Promedio</b>		0,29	
<b>Coefficiente de correlación r</b>		-0,25	
<b>Coefficiente r<sup>2</sup></b>		0,06	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		90,36	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		91,36	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 57.** Análisis de Varianza para daño a la mazorca por *Heliothis zea*, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Daño a la mazorca por <i>Heliothis zea</i> (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,13	
<b>FACTOR A</b>	3	0,08	ns
<b>ERROR A</b>	6	0,19	
<b>FACTOR B</b>	2	0,25	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,23	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,10	
<b>Promedio</b>		0,60	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,24	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,12	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		73,63	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		53,85	

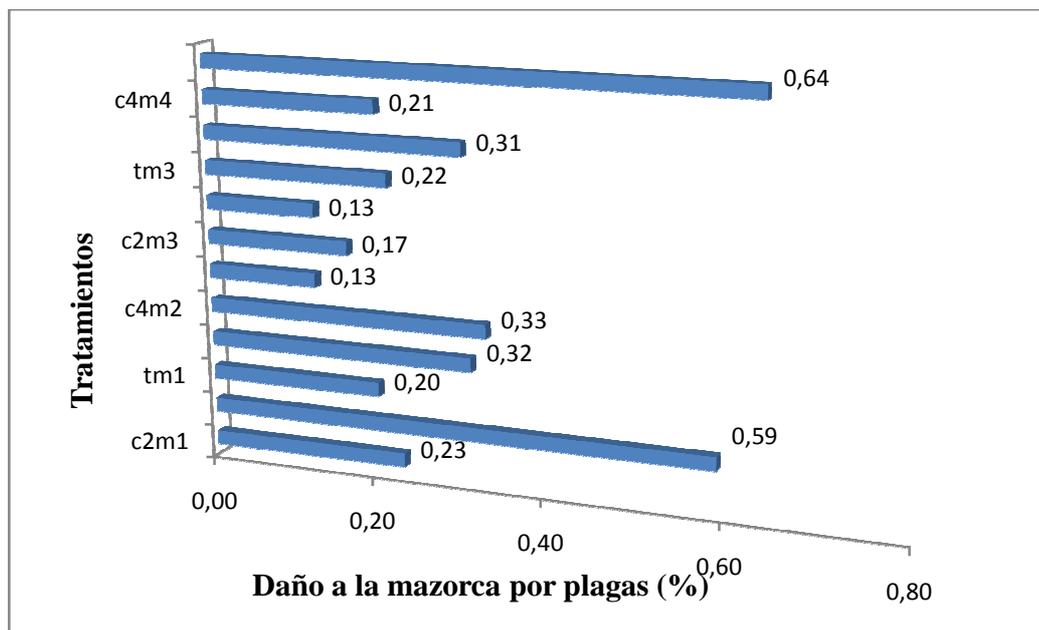
\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

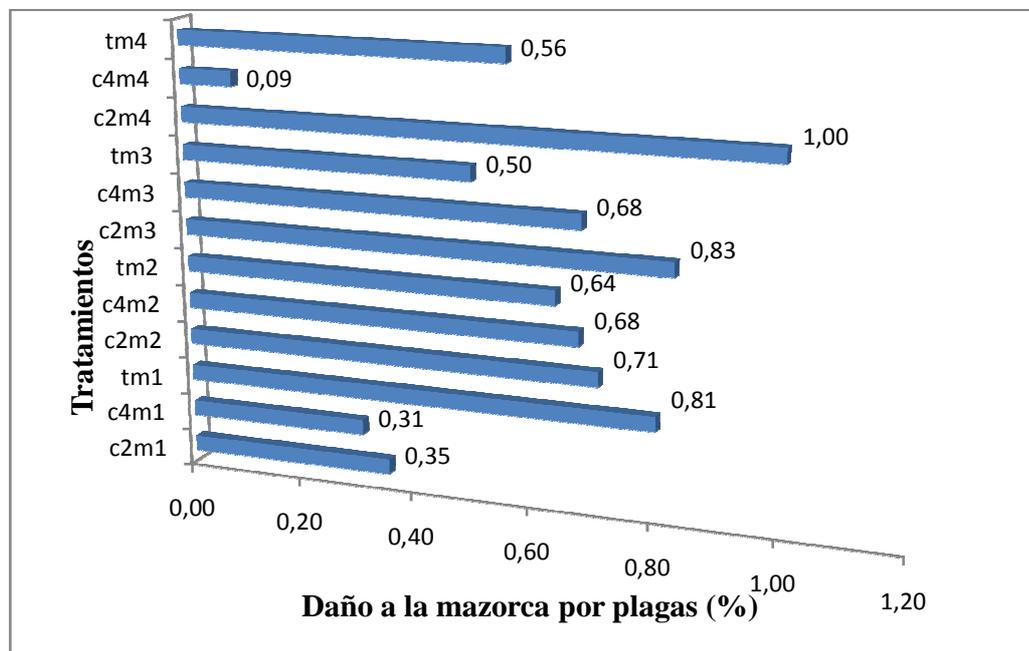
ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

Así, la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla en Amaguaña produjo un 0,13% de infección por el gusano de la mazorca en INIAP 102, a diferencia al testigo que infectó en un 0,64%. En Quinchuquí, el daño a la mazorca INIAP 122 por el gusano de la mazorca tuvo una incidencia de 0,09% con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo a la semilla, mientras que con el testigo se obtuvo un valor mayor, de 0,81%. En las Figuras 30 y 31, se aprecian los resultados por tratamiento, de cada localidad.



*Figura 30. Histograma del porcentaje de daño por Heliothis zea en la mazorca de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.*



*Figura 31. Histograma del porcentaje de daño por Heliothis zea en la mazorca de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura. 2010.*

De manera general, se observó una baja incidencia de esta plaga en las mazorcas INIAP 102 y 122, lo que equivale a un daño ligero, principalmente por la acción del aceite comestible y la tolerancia de las variedades del INIAP (Yáñez, *et al.*, 2004).

La utilización de aceite comestible para control biológico de plagas en maíz, es una tecnología peruana adoptada por los técnicos del Programa de maíz, quienes demostraron mediante evaluaciones en campo, que el aceite comestible controla el 75% de incidencia de *Heliothis zea* en relación a los tratamientos testigos (Yáñez, *et al.*, 2004). El aceite contribuyó con la formación de una barrera que impidió el ingreso de las larvas hacia los granos tapando los orificios de respiración del gusano y matándolo por asfixia (Dobronski, *et al.*, 1999).

En el análisis de correlación se indicó que no existe influencia de la población de *Azospirillum* spp. en la presencia de plagas en la mazorca, observándose un  $r^2$  de 0,06 en Amaguaña, mientras que en Quinchuquí, tampoco existió influencia de *Azospirillum* spp. en la presencia de plagas, obteniéndose un coeficiente de determinación o  $r^2$  de 0,12.

Los valores altos de coeficiente de variación, se debieron a la fuerte intervención del medio ambiente, por lo que algunos tratamientos se vieron fuertemente infectados y otros no.

#### **4.1.7 DAÑO A LA MAZORCA POR HONGOS (*Fusarium moniliforme*).**

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 58, se observó que para los factores A, B y para la interacción A x B no existió significación estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 59, se observó que, para los factores A, B y para la interacción A x B no existió significación estadística.

**Tabla 58.** Análisis de Varianza para daño a la mazorca por *Fusarium moniliforme*, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Daño a la mazorca por <i>Fusarium moniliforme</i> (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	7,17	
<b>FACTOR A</b>	3	6,99	ns
<b>ERROR A</b>	6	7,11	
<b>FACTOR B</b>	2	6,80	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	7,24	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	7,17	
<b>Promedio</b>		0,47	
<b>Coefficiente de correlación</b>		-0,15	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,02	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		96,56	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		91,87	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 59.** Análisis de Varianza para daño a la mazorca por *Fusarium moniliforme*, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Daño a la mazorca por <i>Fusarium moniliforme</i> (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,01	
<b>FACTOR A</b>	3	0,00	ns
<b>ERROR A</b>	6	0,00	
<b>FACTOR B</b>	2	0,00	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,01	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,01	
<b>Promedio</b>		0,02	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,31	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,02	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		95,47	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		97,01	

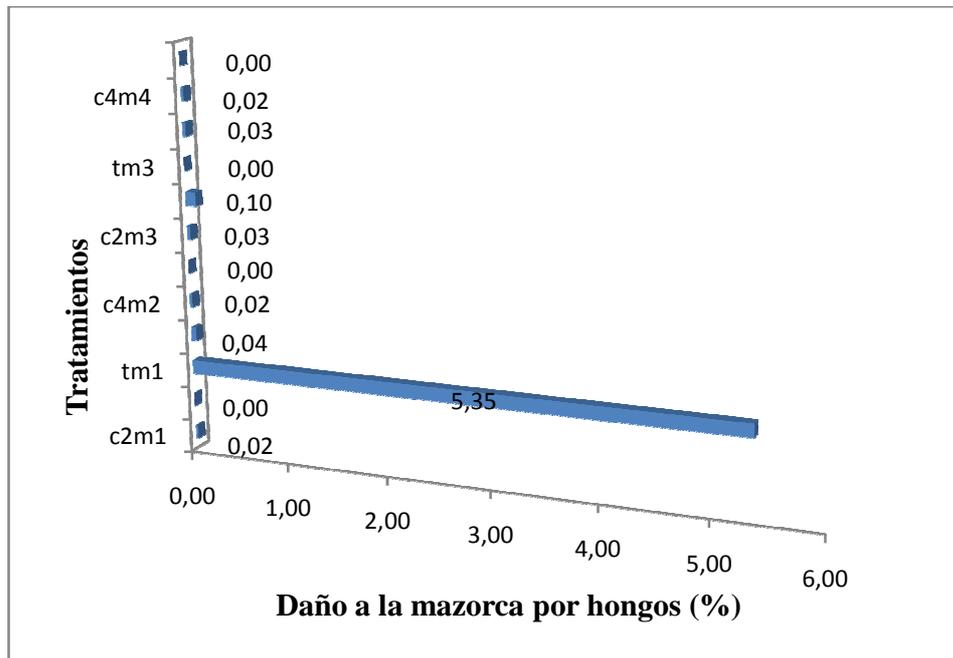
\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

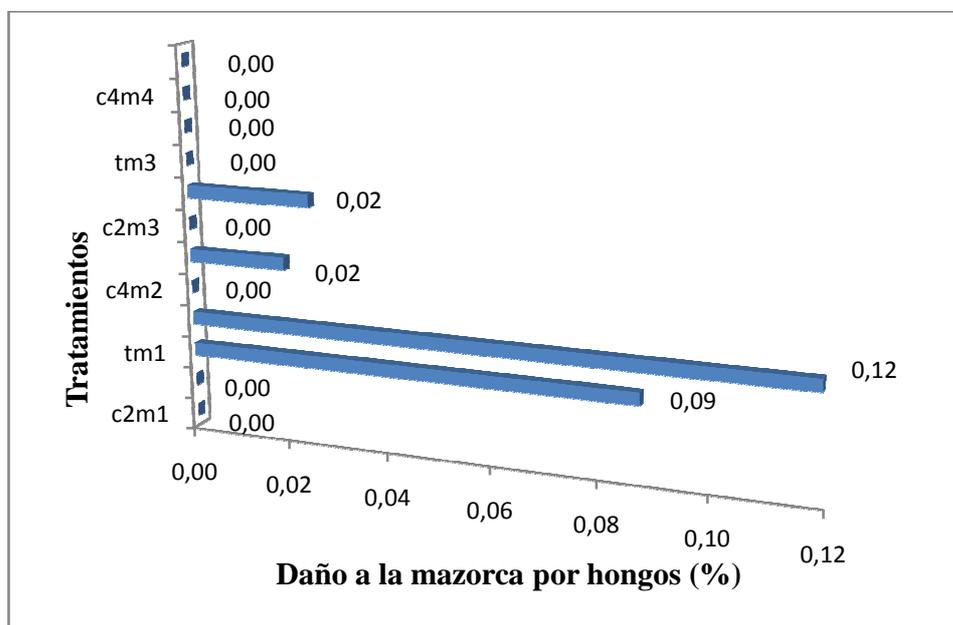
ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

Así, en Amaguaña, no existió incidencia de este hongo en las mazorcas INIAP 102 con la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo al suelo y tres testigos, mientras que con uno de los testigos se obtuvo un 5,35% de daño. En Quinchuquí, tampoco existió daño a la mazorca INIAP 122 por hongos, gracias a la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar y Chimborazo al suelo, inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo al suelo, inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla, inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Bolívar y Chimborazo a la semilla y tres testigos, mientras que en un testigo se obtuvo una incidencia de 0,02%. En las Figuras 32 y 33, se aprecian los resultados por tratamiento, de cada localidad.



**Figura 32.** Histograma del porcentaje de daño por *Fusarium moniliforme* en la mazorca de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.



**Figura 33.** Histograma del porcentaje de daño por *Fusarium moniliforme* en la mazorca de la variedad INIAP 122. Quinchuquí – Imbabura. 2010.

De manera general, se observó una baja incidencia de este hongo en las mazorcas INIAP 102 y 122, lo que equivale a un daño ligero, donde uno de los factores es la tolerancia a la pudrición que presentan las variedades de maíz del INIAP.

A través del análisis correlacional se demostró que la bacteria no tuvo incidencia en el daño de la mazorca por este hongo en Amaguaña, así el  $r^2$  fue de 0,01; mientras que en Quinchuquí tampoco tuvo influencia, resultando un  $r^2$  de 0,02.

Se ha demostrado que las rizobacterias inducen resistencia en las plantas contra enfermedades fúngicas, bacterianas y virales y también han sido efectivas contra insectos y nematodos. En un estudio *Azospirillum brasilense* redujo en un 96% la presencia de *Fusarium* en plantas de maíz in vitro, en comparación con los testigos (Hassouna, *et al.*, 1998).

#### **4.1.8 DIÁMETRO DE MAZORCA.**

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 60, se observó que para el factor A, existió diferencia significativa, para el factor B existió alta diferencia significativa, mientras que para la interacción A x B no existió significación estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 61, se observó que para el factor A existió diferencia significativa mientras que para B y para la interacción A x B no existe significación estadística.

**Tabla 60.** Análisis de Varianza para diámetro de mazorca, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Diámetro de mazorca (cm)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,05	
<b>FACTOR A</b>	3	0,05	*
<b>ERROR A</b>	6	0,04	
<b>FACTOR B</b>	2	0,11	**
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,01	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,01	
<b>Promedio</b>		4,50	
<b>Coefficiente de correlación</b>		-0,03	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,00	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		4,17	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		2,68	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 61.** Análisis de Varianza para diámetro de mazorca, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Diámetro de mazorca (cm)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,08	
<b>FACTOR A</b>	3	0,13	*
<b>ERROR A</b>	6	0,03	ns
<b>FACTOR B</b>	2	0,06	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,03	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,04	
<b>Promedio</b>		4,69	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,38	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,10	
<b>Coefficiente de variación</b>			
<b>A(%):</b>		3,74	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		4,09	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

#### **Prueba de Tukey al 5% para el factor A.**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para el factor A, en Amaguaña, Tabla 62, se puede observar en primer rango m2 (método de inoculación sólido al suelo), mientras que en el último rango se ubica m4 (método de inoculación sólido a la semilla); al igual que en Quinchuquí, con INIAP 122, Tabla 63.

**Tabla 62.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para diámetro de mazorca y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Diámetro de mazorca (cm)	
m1	Inoculación líquida al suelo	4,51	ab
m2	Inoculación sólida al suelo	4,59	a
m3	Inoculación líquida a la semilla	4,51	ab
m4	Inoculación sólida a la semilla	4,40	b

**Tabla 63.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para diámetro de mazorca y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación de Tukey al 5%	
		Diámetro de mazorca (cm)	
m1	Inoculación líquida al suelo	4,69	ab
m2	Inoculación sólida al suelo	4,85	a
m3	Inoculación líquida a la semilla	4,66	ab
m4	Inoculación sólida a la semilla	4,56	b

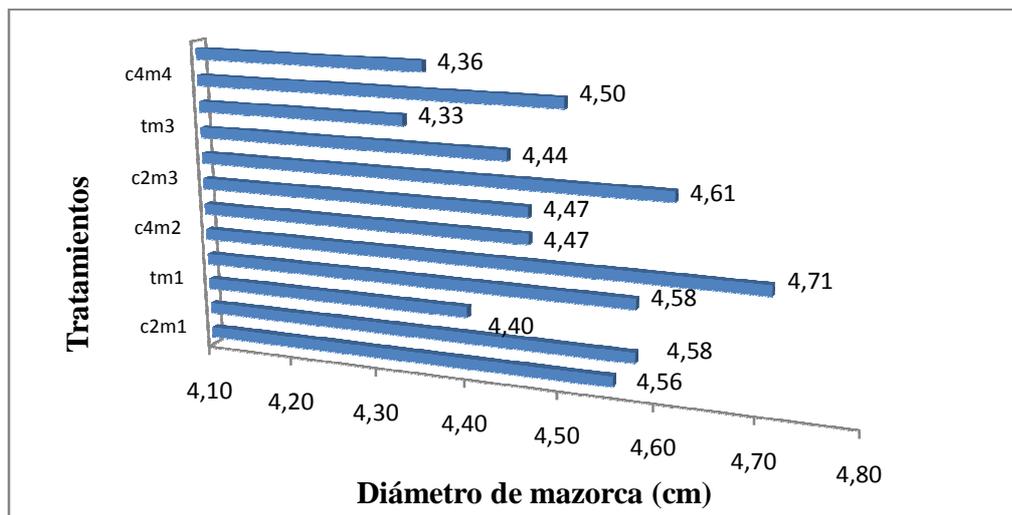
#### **Prueba DMS al 5% para el factor B.**

Al realizar la prueba DMS al 5% para el factor B, en Amaguaña, Tabla 64, se pudo observar en primer rango a c4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo), y t (testigo) en último rango.

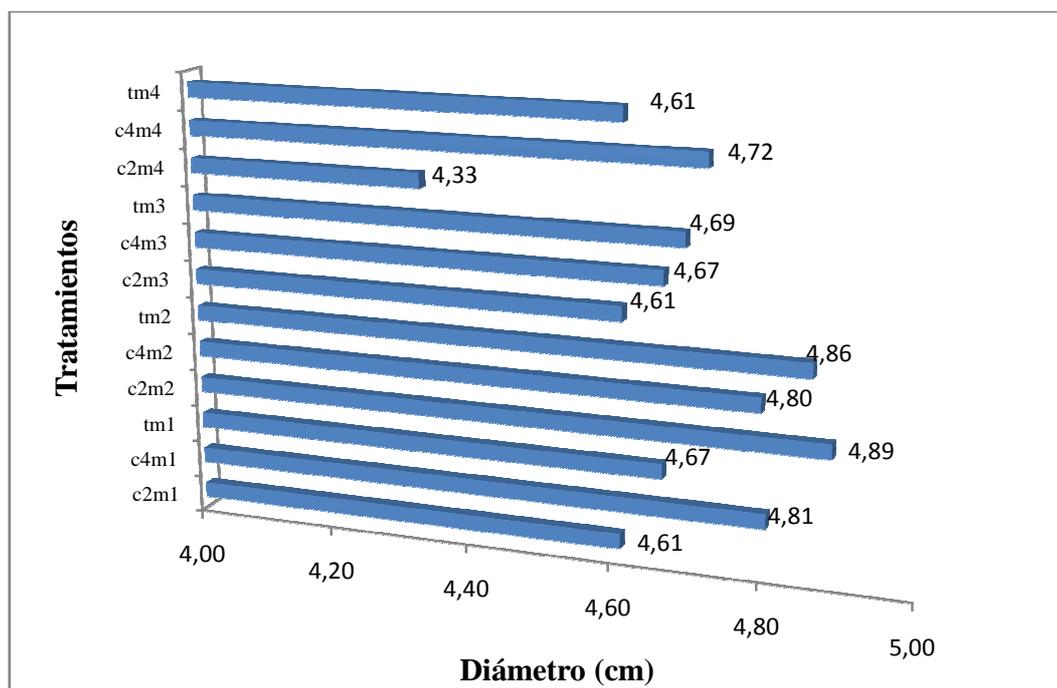
**Tabla 64.** Promedios del factor B (cepas de *Azospirillum* spp.) para diámetro de mazorca y DMS al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Identificación	Procedencia	Promedios y Rangos de significación y DMS al 5%	
			Diámetro de mazorca (cm)	
c2	<i>Azospirillum</i> spp.	Bolívar	4,48	b
c4	<i>Azospirillum</i> spp.	Chimborazo	4,60	a
t	Testigo	Testigo	4,42	b

Los valores de diámetro de mazorca reportados por <sup>ab</sup>Silva, *et al.*, 2000, para las variedades en estudio, son 9 a 10 cm para INIAP 102 y 10 a 11 cm para INIAP 122. Así, en Amaguaña con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo al suelo se obtuvo un diámetro de mazorca INIAP 102 de 4,71 cm, mientras que con el testigo se obtuvo un diámetro de 4,36 cm. En Quinchuquí, la mazorca INIAP 122 tuvo un diámetro de 4,89 cm con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Bolívar al suelo, que es superior al del testigo, que fue de 4,61 cm. En las Figuras 34 y 35, se aprecian los resultados por tratamiento, de cada localidad.



**Figura 34.** Histograma del diámetro de mazorca de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.



*Figura 35. Histograma del diámetro de mazorca de la variedad INIAP 122. Quinchuquí- Pichincha. 2010.*

En el análisis correlacional se observó que los datos no estuvieron correlacionados en Amaguaña; mientras que en Quinchuquí, la población de bacterias introducidas con los métodos de inoculación tuvieron una mínima influencia en el diámetro de la mazorca, resultando un  $r^2$  de 0,1.

Al encontrar resultados inconsistentes se puede discutir que los factores responsables de tales regularidades son de tipo climático, ya que el desarrollo de las plantas está influenciada por las condiciones de medio ambiente que afectan la etapa de formación del grano (Saubidet, *et al.*, 2002). Lo que podría ser la causa de los resultados contradictorios también es el uso de material (semillas) con diferente genotipo (Entrevista personal con técnico del Programa de Maíz del INIAP).

#### 4.1.9 LONGITUD DE MAZORCA.

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 65, se observó que para los factores A, B y la interacción A x B no existió significación estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 66 se observó que para el factor A existió alta diferencia significativa, mientras que para B y la interacción A x B no existe significación estadística.

**Tabla 65.** Análisis de Varianza para longitud de mazorca, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Longitud de mazorca (cm)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	3,56	
<b>FACTOR A</b>	3	1,08	ns
<b>ERROR A</b>	6	0,69	
<b>FACTOR B</b>	2	0,55	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	1,36	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,87	
<b>Promedio</b>		9,86	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,23	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,06	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		8,40	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		9,45	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 66.** Análisis de Varianza para longitud de mazorca, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Longitud de mazorca (cm)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,55	
<b>FACTOR A</b>	3	2,22	**
<b>ERROR A</b>	6	0,58	
<b>FACTOR B</b>	2	0,30	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,12	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,24	
<b>Promedio</b>		10,35	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,32	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,02	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		7,36	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		4,71	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

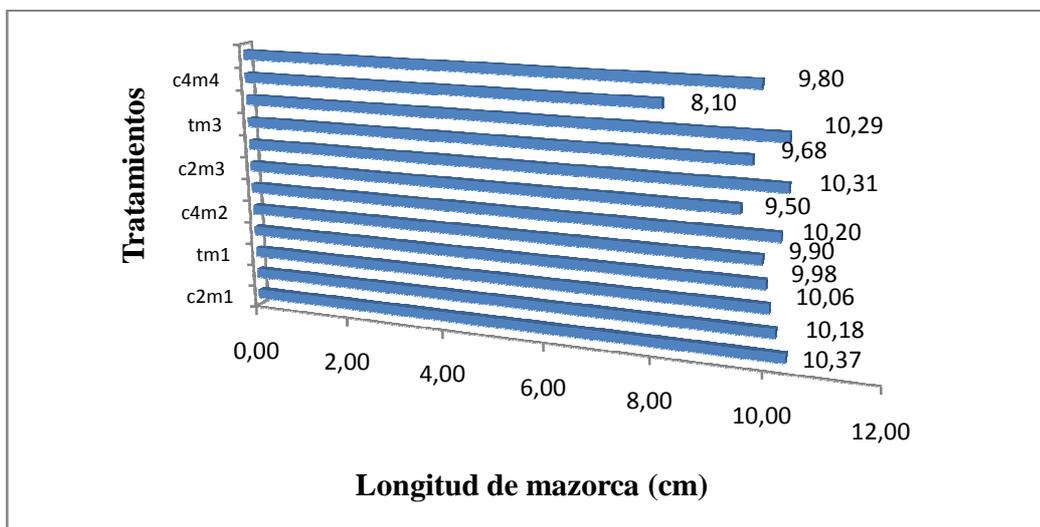
**Prueba de Tukey al 5% para el factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba de Tukey al 5%, para el factor A, en Quinchuquí, Tabla 67, se puede observar en primer rango m1 (método de inoculación líquido al suelo) y m2 (método de inoculación sólido al suelo), y en el último rango se ubica m4 (método de inoculación sólido a la semilla).

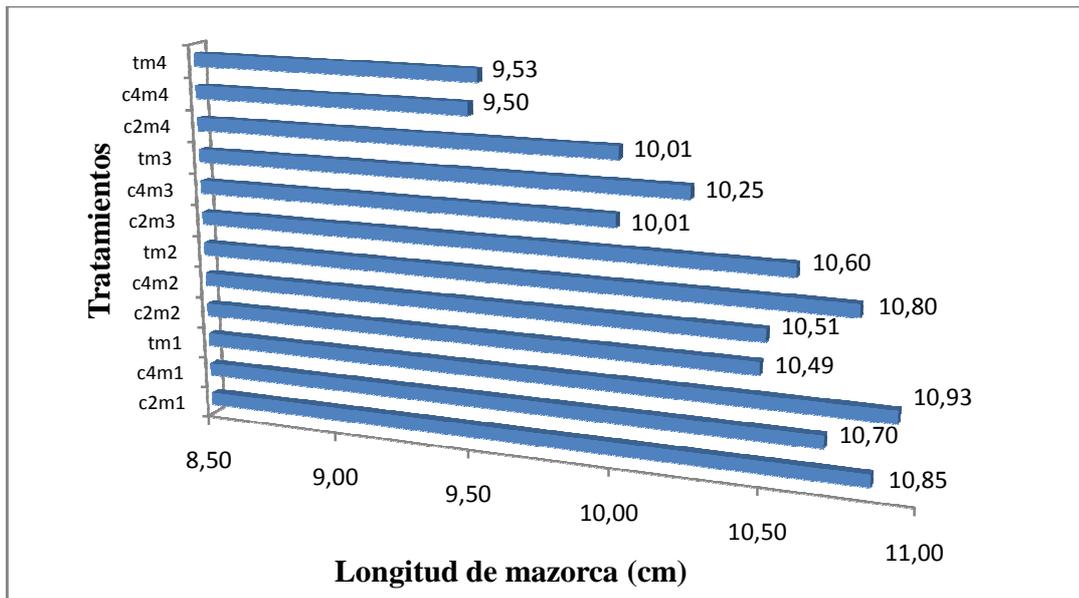
**Tabla 67.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para longitud de mazorca y Tukey al 5%. Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación	
		Longitud de mazorca (cm)	
m1	Inoculación líquida al suelo	10,83	a
m2	Inoculación sólida al suelo	10,60	a
m3	Inoculación líquida a la semilla	10,28	ab
m4	Inoculación sólida a la semilla	9,68	b

Los valores de longitud de mazorca, reportados por <sup>ab</sup>Silva, *et al.*, 2000, para las variedades en estudio corresponden a 14,5 cm para la variedad INIAP 102, y de 16 a 17 cm para INIAP 122. Así, en Amaguaña con la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar al suelo se obtuvo una longitud de mazorca INIAP 102 de 10,37 cm; mientras que con el testigo se obtuvo un diámetro de 9,68 cm. En Quinchuquí, la mazorca INIAP 122 tuvo una longitud de 10,85 cm con el mismo tratamiento, que es superior al valor del testigo que fue de 9,53 cm. Ver Figuras 36 y 37.



**Figura 36.** Histograma de la longitud de mazorca de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.



*Figura 37. Histograma de la longitud de mazorca de la variedad INIAP 122. Quinchoquí – Imbabura. 2010.*

En el análisis correlacional se observó poca influencia de *Azospirillum* spp. para la obtención de una mazorca con mejores dimensiones. Se observó un  $r^2$  muy bajo de 0,06 en Amaguaña y 0,02 en Quinchoquí.

#### **4.1.9 NITRÓGENO EN SUELO.**

En el suelo de Amaguaña el porcentaje inicial de nitrógeno total fue 0,14% y de nitrógeno disponible fue 68 ppm (0,0068%); en Quinchoquí se obtuvo 0,21% de nitrógeno total y 64 ppm (0,0064%) de nitrógeno disponible.

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 68, se observó que para el factor A y la interacción A x B existió alta significación estadística, mientras que para B no existió diferencia significativa.

En la localidad de Quinchoquí, Tabla 69, se observó que para los factores A, B y para la interacción A x B no existe significación estadística.

**Tabla 68.** Análisis de Varianza para porcentaje de nitrógeno total en suelo, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Nitrógeno total en suelo (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,00	
<b>FACTOR A</b>	3	0,02	**
<b>ERROR A</b>	6	0,00	
<b>FACTOR B</b>	2	0,00	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,01	**
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,00	
<b>Promedio</b>		0,37	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,38	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,14	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		33,61	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		32,14	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 69.** Análisis de Varianza para porcentaje de nitrógeno total en suelo, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Nitrógeno total en suelo (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,00	
<b>FACTOR A</b>	3	0,01	ns
<b>ERROR A</b>	6	0,01	
<b>FACTOR B</b>	2	0,00	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,00	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,02	
<b>Promedio</b>		0,21	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,14	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,02	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		39,39	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		59,61	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Prueba de Tukey al 5% para el factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba de Tukey al 5%, en Amaguaña, Tabla 70, para el factor A, se puede observar en primer rango m3 (método de inoculación líquido a la semilla), mientras que en el último rango se ubican m1 (método de inoculación líquido al suelo), m2 (método de inoculación sólido al suelo) y m4 (método de inoculación sólido a la semilla).

**Tabla 70.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para porcentaje de nitrógeno total en suelo y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación	
		Nitrógeno total en suelo (%)	
m1	Inoculación líquida al suelo	0,12	b
m2	Inoculación sólida al suelo	0,11	b
m3	Inoculación líquida a la semilla	0,20	a
m4	Inoculación sólida a la semilla	0,09	b

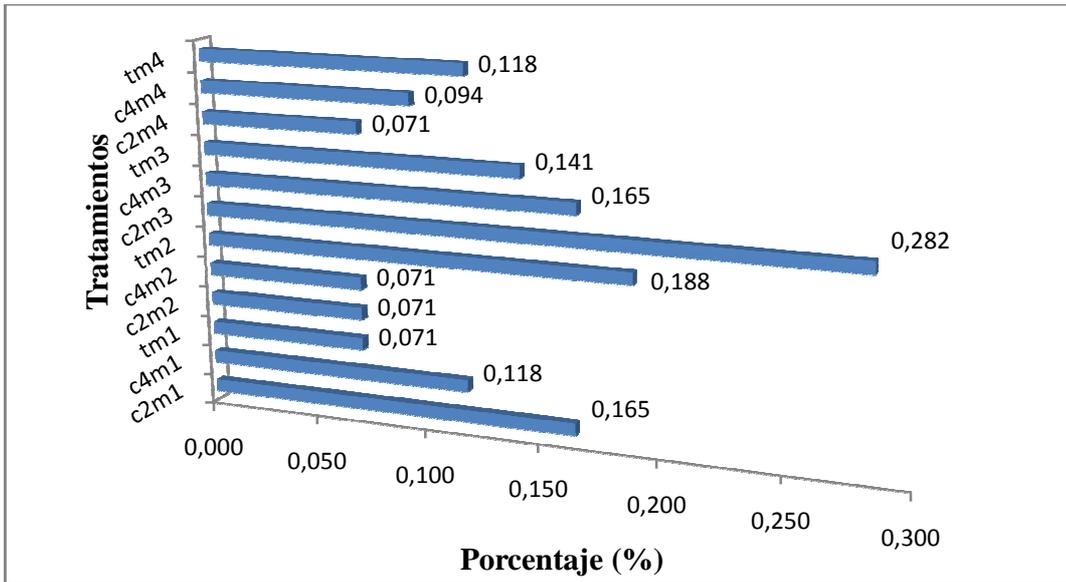
**Prueba de Tukey al 5% para la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.)**

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para la interacción A x B, en Amaguaña, con INIAP 102, Tabla 71, se observó que c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido la semilla) presentó un promedio de 0,28%; mientras que tm1 (testigo), c2m2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación sólido al suelo), c4m2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo + método de inoculación sólido al suelo) y c2m4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación sólido a la semilla) presentaron un promedio muy inferior de 0,07%.

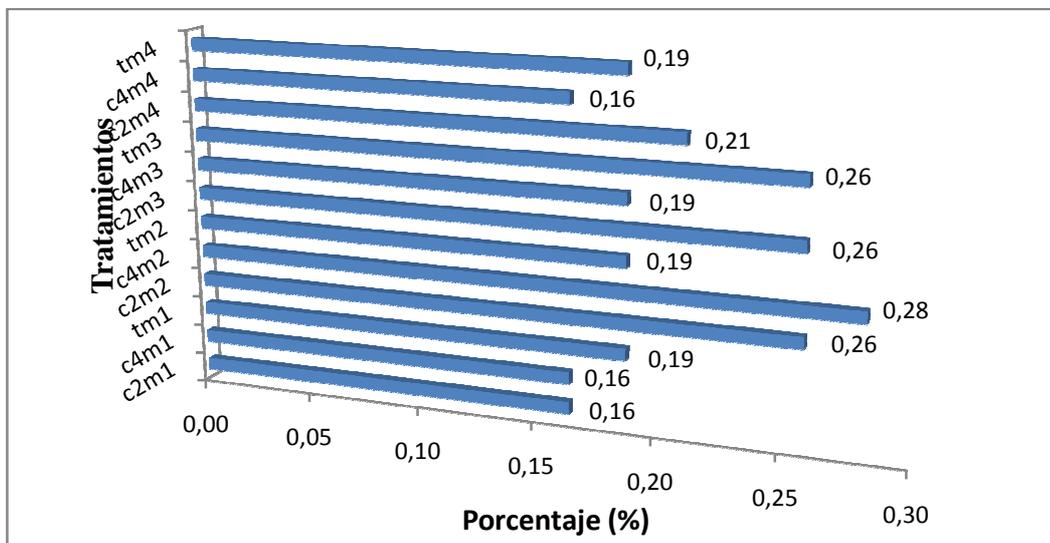
**Tabla 71.** Promedios de la interacción A x B (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) x (cepas de *Azospirillum* spp.) para porcentaje de nitrógeno total en suelo y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Identificación	Promedios y Rangos de significación	
		Nitrógeno total en suelo (%)	
c2m1	A spp. de Bolívar + Inoculación líquida al suelo	0,16	ab
c4m1	A. de Chimborazo + Inoculación líquida al suelo	0,12	b
m1	Testigo	0,07	b
c2m2	A. de Bolívar + Inoculación sólida al suelo	0,07	b
c4m2	A. de Chimborazo + Inoculación sólida al suelo	0,07	b
tm2	Testigo	0,19	ab
c2m3	A. de Bolívar + Inoculación líquida a la semilla	0,28	a
c4m3	A. de Chimborazo + Inoculación líquida a la semilla	0,16	ab
tm3	Testigo	0,14	b
c2m4	A. de Bolívar + Inoculación sólida a la semilla	0,07	b
c4m4	A. de Chimborazo + Inoculación sólida a la semilla	0,09	b
tm4	Testigo	0,12	b

En las Figuras 38 y 39, se aprecian los resultados por tratamiento, de cada localidad.



*Figura 38. Histograma del porcentaje de nitrógeno en el suelo de Amaguaña - Pichincha. 2010.*



*Figura 39. Histograma del porcentaje de nitrógeno en el suelo de Quinchuquí - Imbabura. 2010.*

En el análisis correlacional se observó coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0,14 en Amaguaña y 0,02 en Quinchuquí. Con esto se demostró influencia de *Azospirillum* spp. en el contenido de nitrógeno de los suelos.

Estudios han revelado que la inoculación con *Azospirillum* en gramíneas aporta de 30 a 50% de los requerimientos de nitrógeno por hectárea [ha] (Saura, *et al.*, 2003). Inicialmente el suelo de Amaguaña presentó un porcentaje de 0,14% de nitrógeno total, es decir, 1,4% de nitrógeno por hectárea [ha] y el suelo de Quinchuquí 0,21% de nitrógeno total, es decir, 2,1% de nitrógeno total por hectárea [ha]. Así, en Amaguaña la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla incrementó el contenido de nitrógeno total en el suelo en un 2,8% por hectárea [ha], mientras que el testigo incrementó 0,7% de nitrógeno total por hectárea [ha] en el suelo. En Quinchuquí, el suelo presentó un porcentaje de nitrógeno total de 2,8% por hectárea [ha] con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo al suelo, que es superior al del testigo que fue de 1,9% por hectárea [ha].

A partir de estos datos se concluye que la bacteria a través del método líquido a la semilla fijó más nitrógeno en el suelo de Amaguaña.

Las pequeñas cantidades de nitrógeno que aportó la bacteria a través de la fijación biológica de nitrógeno fue importante en las etapas críticas del desarrollo vegetal, así como la reproducción.

#### **4.1.10 NITRÓGENO EN PLANTA.**

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 72, se observó que para los factores A, B y la interacción A x B no existió alta significación estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 73, se observó que para los factores A, B y para la interacción A x B no existe significación estadística.

**Tabla 72.** Análisis de Varianza para porcentaje de nitrógeno total en planta, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Nitrógeno total en planta (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2		0,18
<b>FACTOR A</b>	3	**	0,05 ns
<b>ERROR A</b>	6		0,07
<b>FACTOR B</b>	2	ns	0,10 ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	**	0,21 ns
<b>ERROR EXP.</b>	16		0,14
<b>Promedio</b>			1,24
<b>Coefficiente de correlación</b>			-0,03
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>			0,00
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>			21,64
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>			30,54

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 73.** Análisis de Varianza para porcentaje de nitrógeno total en planta, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Nitrógeno total en planta (%)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	0,01	
<b>FACTOR A</b>	3	0,08	ns
<b>ERROR A</b>	6	0,22	
<b>FACTOR B</b>	2	0,01	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	0,38	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	0,16	
<b>Promedio</b>		2,33	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,05	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,00	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		20,02	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		17,27	

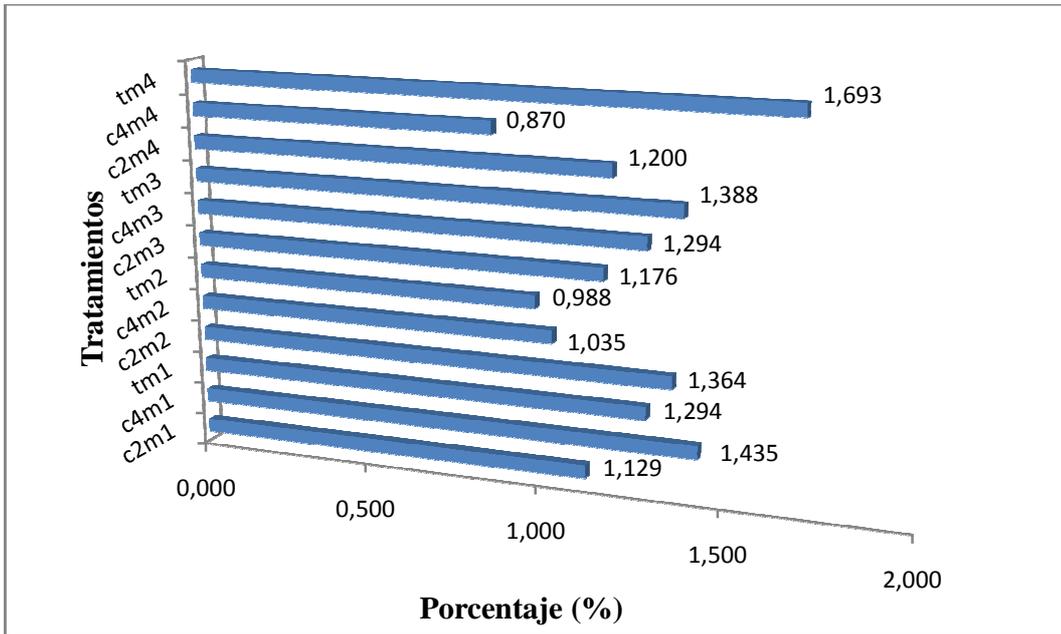
\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

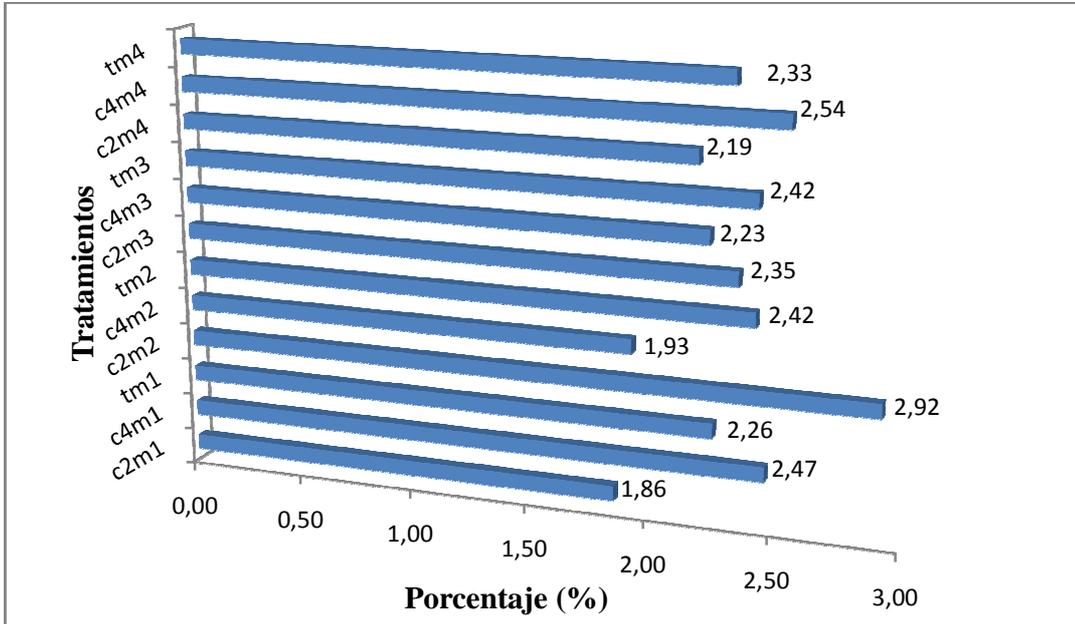
ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

Así, en Amaguaña la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Chimborazo al suelo, permitió a la planta la absorción de 1,43% de nitrógeno, mientras que el testigo absorbió o acumuló 0,99% de nitrógeno en la planta. En Quinchuquí, las plantas de maíz INIAP 122 presentaron un contenido de nitrógeno de 2,92% con la inoculación sólida de *Azospirillum* spp. de Bolívar al suelo, que es superior al del testigo que fue de 2,26%. En las Figuras 40 y 41, se aprecian los resultados por tratamiento, de cada localidad.



**Figura 40.** Histograma del porcentaje de nitrógeno en plantas de maíz de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha. 2010.



**Figura 41.** Histograma del porcentaje de nitrógeno en plantas de maíz de la variedad INIAP 122. Quinchuquí - Imbabura. 2010.

El análisis correlacional indica que no existió influencia de los métodos de inoculación de *Azospirillum* spp en el contenido de nitrógeno de las plantas de maíz INIAP 102 en Amaguaña ya que los datos no estuvieron correlacionados.

Estudios sobre la inoculación en trigo y maíz han indicado que del 5 al 10% del nitrógeno total en la planta se debe a la fijación de nitrógeno, y si todo el nitrógeno fijado fuese incorporado por la planta, se incrementaría el contenido de nitrógeno total en las plantas inoculadas. Por otro lado, existen estudios que han mostrado baja actividad nitrogenasa en plantas que responden positivamente a la inoculación, donde menos del 5% de todo el nitrógeno fijado por *Azospirillum* spp. fue incorporado a las plantas (Bashan, *et al.*, 1995).

El porcentaje de nitrógeno en la planta de maíz es de 2,8 a 3,5 % en estado vegetativo (Michael, *et al.*, 1998). En este estudio, el bajo contenido de nitrógeno en las plantas inoculadas se debe a que existió una menor cantidad de nitrógeno fijado por *Azospirillum* spp. Los resultados muestran una mínima deficiencia de nitrógeno en las plantas, ya que los ensayos no fueron fertilizados para aprovechar la fijación biológica del nitrógeno.

La inoculación con *Azospirillum* spp. pudo provocar que la absorción de iones en el suelo sea más eficiente, esto explicaría la acumulación de compuestos nitrogenados en la planta sin existir una aparente fijación de nitrógeno (Bashan, *et al.*, 1995).

#### **4.1.11 RENDIMIENTO EN CHOCLO.**

Al realizar el Análisis de Varianza, en la localidad de Amaguaña, Tabla 74, se observó que para los factores A, B y la interacción A x B no existió alta significación estadística.

En la localidad de Quinchuquí, Tabla 75, se observó que para el factor A existió alta significación estadística; mientras que para B y para la interacción A x B no existe significación estadística.

**Tabla 74.** Análisis de Varianza para rendimiento, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Amaguaña - Pichincha, 2010.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Rendimiento en choclo (sacos/ha)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	<u>6755,25</u>	
<b>FACTOR A</b>	3	<u>12320,59</u>	**
<b>ERROR A</b>	6	<u>2638,94</u>	
<b>FACTOR B</b>	2	<u>1197,18</u>	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	<u>263,65</u>	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	<u>1633,37</u>	
<b>Promedio</b>		192,23	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,48	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,23	
<b>Coefficiente de variación</b>			
<b>A(%):</b>		26,72	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		21,02	

\* : Significativo al 5% .

\*\* : Altamente Significativo al 5%.

ns : No Significativo al 5%.

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

**Tabla 75.** Análisis de Varianza para rendimiento, en el estudio "Evaluación de cuatro métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102 en las provincias de Imbabura y Pichincha". Quinchuquí - Imbabura, 2010.

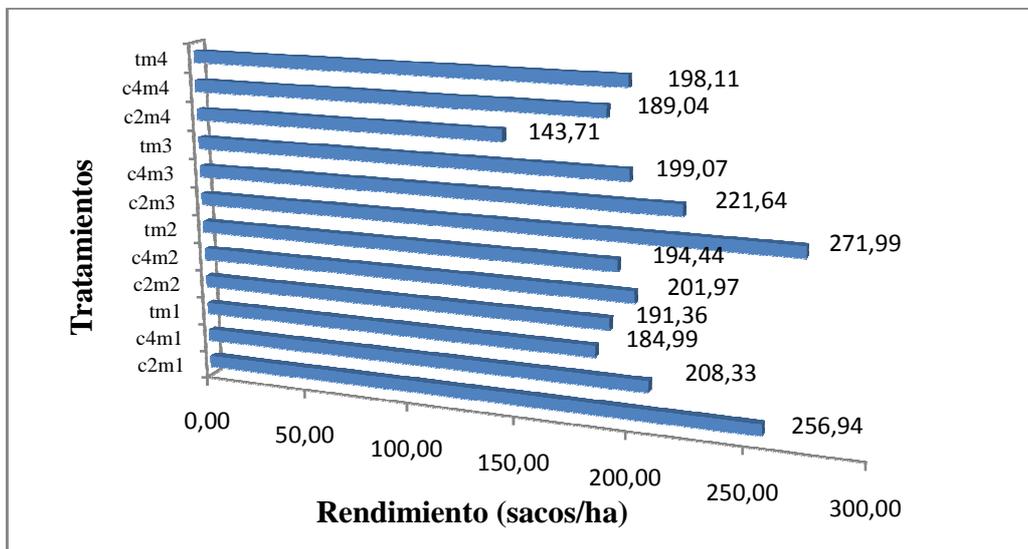
Fuentes de Variación	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA	
		Rendimiento en choclo (sacos/ha)	
<b>TOTAL</b>	35		
<b>Repeticiones</b>	2	3720,98	
<b>FACTOR A</b>	3	5034,07	ns
<b>ERROR A</b>	6	2560,02	
<b>FACTOR B</b>	2	1431,87	ns
<b>INTERACCIÓN AXB</b>	6	3142,88	ns
<b>ERROR EXP.</b>	16	3353,05	
<b>Promedio</b>		205,13	
<b>Coefficiente de correlación</b>		0,41	
<b>Coefficiente R<sup>2</sup></b>		0,17	
<b>Coefficiente de variación A(%):</b>		24,67	
<b>Coefficiente de variación B(%):</b>		28,23	

Para el factor A en la localidad de Quinchuquí, con INIAP 122, Tabla 76, se realizó la prueba de Tukey al 5%, donde se apreció en primer rango a m3 (método de inoculación líquido a la semilla) y en último rango a m1 (método de inoculación líquido al suelo) y m2 (método de inoculación sólido al suelo). En las Figuras H21 y H22, se aprecian los resultados por tratamiento, de cada localidad.

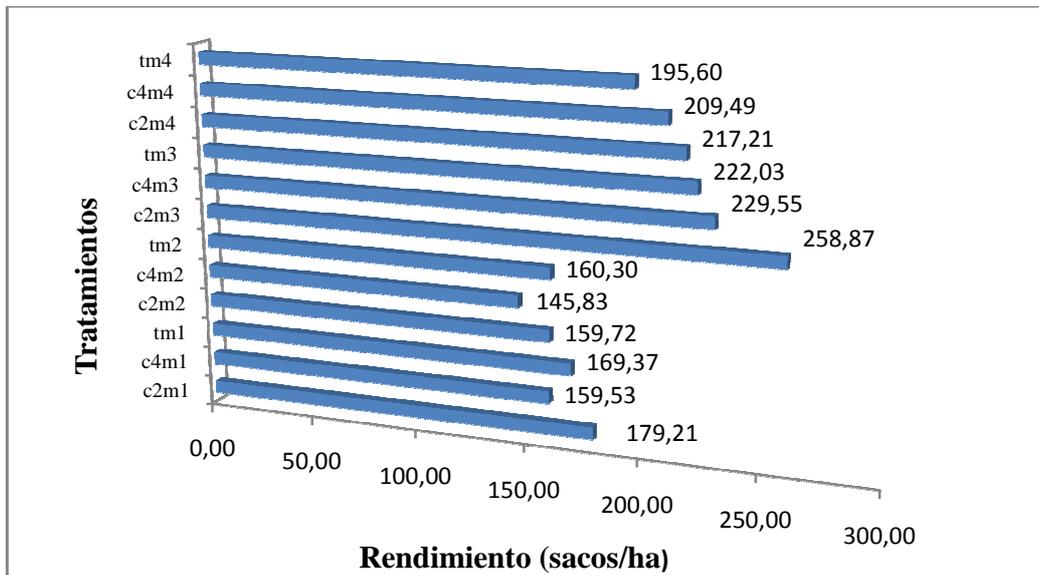
**Tabla 76.** Promedios del factor A (métodos de inoculación de *Azospirillum* spp.) para rendimiento y Tukey al 5%. Amaguaña - Pichincha, 2010.

Código	Descripción	Promedios y Rangos de significación	
		Rendimiento en choclo (sacos/ha)	
m1	Inoculación líquida al suelo	169,37	b
m2	Inoculación sólida al suelo	155,29	b
m3	Inoculación líquida a la semilla	236,82	a
m4	Inoculación sólida a la semilla	207,43	ab

Según <sup>ab</sup>Silva, *et al.*, 2000 el rendimiento de INIAP 102 es 237 sacos por hectárea [ha] y de INIAP 122 es 190 sacos por hectárea [ha]. Así, en Amaguaña, la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla, incrementó el rendimiento de la variedad INIAP 102 a 271,99 sacos por hectárea [ha], en relación del testigo que incrementó a 184,99 sacos por hectárea [ha]. En Quinchuquí, el mismo tratamiento incrementó el rendimiento de la variedad de maíz INIAP 122 a 258,87 sacos por hectárea [ha], que es superior al del testigo que fue de 160,30 sacos por hectárea [ha]. Los promedios se pueden apreciar en las Figuras 42 y 43.



**Figura 42.** Histograma del rendimiento de la variedad INIAP 102. Amaguaña - Pichincha, 2010.



**Figura 43.** Histograma del rendimiento de la variedad INIAP 122.  
Quinchuquí - Imbabura. 2010.

En el análisis de correlación se observó coeficientes de determinación  $r^2$  de 0,17 en Amaguaña y 0,23 en Quinchuquí, con lo cual se demuestra que los datos estuvieron poco correlacionados, y se puede concluir que la población inoculada de *Azospirillum* spp. mediante métodos adecuados, influyeron en el incremento de del rendimiento de las variedades INIAP 102 y 122.

Esto se debió a que los ensayos en campo se vieron afectados por las condiciones climáticas desfavorables, en la última etapa del ciclo de cultivo, y por la mínima fertilización inorgánica que se aplicó al suelo, sin embargo, esto no impidió, que exista un incremento del rendimiento de las variedades en estudio, donde se pudo notar claramente la acción sinérgica que mantuvo *Azospirillum* con los microorganismos del suelo para beneficiar a la planta. Las condiciones ambientales fueron los factores principales para no haber encontrado significación estadística entre tratamientos para varios parámetros del crecimiento y para el rendimiento de las variedades en estudio.

El incremento en el rendimiento total de plantas crecidas en campo por efecto de la inoculación con *Azospirillum* spp. es de 10 al 30% y se estima que incrementos del rendimiento por encima del 20% son considerados aceptables, siempre y cuando los resultados sean consistentes (Novo, 2002). Por esta razón los rendimientos obtenidos son muy importantes, para esta investigación y para los agricultores de la serranía del Ecuador.

#### **4.1.12 PRESUPUESTO PARCIAL Y TASA DE RETORNO MARGINAL.**

Se elaboró un Presupuesto Parcial, que es una herramienta de análisis para estimar el resultado económico de una actividad agropecuaria. Se calculó para cada tratamiento de cada ensayo, los beneficios netos obtenidos al emplear esta tecnología, para lo cual se consideró los costos que varían. El beneficio neto es valor monetario obtenido por la actividad productiva. El total de costos que varían con cada tratamiento en dólares americanos por hectárea [ha], fueron aquellos relacionados con la producción del biofertilizante en laboratorio, los insumos y la mano de obra para la aplicación en campo, que se detallan en la Tabla 77.

**Tabla 77.** Total de costos que varían en la producción de las variedades de maíz INIAP 102 y 122 con la aplicación de las metodologías de inoculación de *Azospirillum* spp. en las provincias de Amaguaña y Quinchuquí. 2010

<b>Fases y actividades</b>	<b>Nombre</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unt.</b>	<b>Precio Total.</b>
				<b>\$</b>	<b>\$</b>
Aplicación líquido al suelo	Biofertilizante	gramos	300	0,0379	11,37
	Mano de obra	Jornal	2	8	16,00
<b>Total de costos que varían</b>					<b>27,37</b>
<b>Total de costos que no varían</b>					<b>836,20</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>					<b>863,57</b>
Aplicación sólido al suelo	Biofertilizante	gramos	300	0,0449	13,47
	Mano de obra	Jornal	2	8,00	16,00
<b>Total de costos que varían</b>					<b>29,47</b>
<b>Total de costos que no varían</b>					<b>836,20</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>					<b>865,67</b>
Aplicación líquido a la semilla	Biofertilizante	gramos	300	0,0379	11,37
	Mano de obra	Jornal	1	8,00	8,00
<b>Total de costos que varían</b>					<b>19,37</b>
<b>Total de costos que no varían</b>					<b>836,20</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>					<b>855,57</b>
Aplicación sólido a la semilla	Biofertilizante	gramos	300	0,0449	13,47
	Mano de obra	Jornal	1	8,00	8,00
	Azúcar	libra	1	0,50	0,50
<b>Total de costos que varían</b>					<b>21,97</b>
<b>Total de costos que no varían</b>					<b>836,20</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>					<b>858,17</b>

En Amaguaña para la variedad INIAP 102, Tabla 78, el tratamiento c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) presentó

un mayor beneficio neto de \$ 1938,96 (dólares americanos) por hectárea [ha] y en último lugar se ubicó c2m4 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación sólido a la semilla) con \$ 1012,75 (dólares americanos) por hectárea [ha].

En Quinchuquí para la variedad INIAP 122, Tabla 79, el tratamiento c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) presentó un mayor beneficio neto de \$ 1840,89 (dólares americanos) por hectárea [ha] y en último lugar se ubicó c4m2 (cepa de *Azospirillum* spp de Chimborazo + método de inoculación sólido al suelo) con \$ 1027 (dólares americanos) por hectárea [ha].

**Tabla 78.** Presupuesto Parcial de la producción de la variedad de maíz INIAP 102 con la aplicación de las metodologías de inoculación de *Azospirillum* spp. Amaguaña - Pichincha. 2010.

Trat.	Rendimiento de choclos (sacos/ha)			Rendimiento medio de choclos (sacos/ha)	Rendimiento ajustado 10% (sacos/ha)	Beneficio Bruto de campo (\$/ha)	Total de costos que varían (\$/ha)	Beneficio neto (\$/ha)
	I	II	III					
c2m1	92,59	71,76	92,59	256,94	231,25	1850,00	27,37	1822,63
c4m1	63,66	81,02	63,66	208,33	187,50	1500,00	27,37	1472,63
tm1	66,55	62,50	55,94	184,99	166,49	1331,94	0	1331,94
c2m2	52,08	71,76	67,52	191,36	172,22	1377,78	29,47	1348,31
c4m2	49,19	60,19	92,59	201,97	181,77	1454,17	29,47	1424,70
tm2	75,23	67,13	52,08	194,44	175,00	1400,00	0	1400,00
c2m3	81,02	92,59	98,38	271,99	244,79	1958,33	19,37	1938,96
c4m3	49,19	97,22	75,23	221,64	199,48	1595,83	19,37	1576,46
tm3	46,30	94,91	57,87	199,07	179,17	1433,33	0	1433,33
c2m4	60,76	46,30	36,65	143,71	129,34	1034,72	21,97	1012,75
c4m4	52,08	69,44	67,52	189,04	170,14	1361,11	21,97	1339,14
tm4	54,98	71,76	71,37	198,11	178,30	1426,39	0	1426,39

**Tabla 79.** Presupuesto Parcial de la producción de la variedad de maíz INIAP 122 con la aplicación de las metodologías de inoculación de *Azospirillum* spp. Quinchuquí - Imbabura. 2010.

Trat.	Rendimiento de choclos (sacos/ha)			Rendimiento medio de choclos (sacos/ha)	Rendimiento ajustado 10% (sacos/ha)	Beneficio Bruto de campo (\$/ha)	Total de costos que varían (\$/ha)	Beneficio neto (\$/ha)
	I	II	III					
c2m1	66,55	62,50	50,15	179,21	161,28	1290,28	27,37	1267,28
c4m1	66,55	48,61	44,37	159,53	143,58	1148,61	27,37	1125,61
tm1	52,08	67,13	50,15	169,37	152,43	1219,44	0	1196,44
c2m2	40,51	43,98	75,23	159,72	143,75	1150,00	29,47	1127,00
c4m2	40,51	30,09	75,23	145,83	131,25	1050,00	29,47	1027,00
tm2	49,19	30,09	81,02	160,30	144,27	1154,17	0	1131,17
c2m3	46,30	118,06	94,52	258,87	232,99	1863,89	19,37	1840,89
c4m3	81,02	81,02	67,52	229,55	206,60	1652,78	19,37	1629,78
tm3	78,13	87,96	55,94	222,03	199,83	1598,61	0	1575,61
c2m4	86,81	76,39	54,01	217,21	195,49	1563,89	21,97	1540,89
c4m4	63,66	53,24	54,01	170,91	153,82	1230,56	21,97	1207,56
tm4	63,66	74,07	92,59	230,32	207,29	1658,33	0	1635,33

Así, en Amaguaña, la inoculación líquida de *Azospirillum* spp. de Bolívar a la semilla presentó un mayor beneficio neto que fue \$ 1938,96 (dólares americanos) por hectárea [ha], en relación al testigo que fue de \$ 1331,94. En Quinchuquí el mismo tratamiento produjo un beneficio neto de \$ 1840,89 (dólares americanos) por hectárea [ha], mientras que el testigo presentó \$ 1131,17 (dólares americanos) por hectárea [ha], en cuanto al beneficio neto adquirido con el empleo de los biofertilizantes.

El beneficio neto obtenido sin la aplicación de los biofertilizantes líquidos y sólidos en Amaguaña con la variedad INIAP 102 es \$ 1706,40 (dólares americanos) por

hectárea [ha] y en Quinchuquí es \$ 1345 (dólares americanos) por hectárea [ha], lo que demuestra que la aplicación de *Azospirillum* spp. es más rentable.

Posteriormente se comparó los costos que varían con los beneficios netos, a través del análisis de dominancia, ya que para el agricultor es importante saber el aumento de costos que se requiere para obtener un determinado incremento en el beneficio neto.

En el análisis de Dominancia en Amaguaña, Tabla 80, los tratamientos que resultaron ser no dominados fueron tm2 (testigo) y c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla); y en Quinchuquí, Tabla 81, se ubicaron los tratamientos tm3 (testigo) y c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla). Aquí se pudo observar que los beneficios netos aumentaron a medida que también incrementó los costos que varían, permitiendo que el agricultor prefiera utilizar estas inoculaciones.

**Tabla 80.** Dominancia de los tratamientos en estudio. Amaguaña – Pichincha. 2010.

No.	Trat.	Total de Costos que varían (\$/ha)	Beneficio Neto (\$/ha)	DOMINANCIA
3	tm1	0,00	1331,94	Dominado
6	tm2	0,00	1400,00	No dominado
9	tm3	0,00	1433,33	Dominado
12	tm4	0,00	1426,39	Dominado
7	c2m3	19,37	1938,96	No dominado
8	c4m3	19,37	1576,46	Dominado
10	c2m4	21,97	1012,75	Dominado
11	c4m4	21,97	1339,14	Dominado
1	c2m1	27,37	1822,63	Dominado
2	c4m1	27,37	1472,63	Dominado
4	c2m2	29,47	1348,31	Dominado
5	c4m2	29,47	1424,70	Dominado

**Tabla 81.** Dominancia de los tratamientos en estudio. Quinchuquí –Imbabura. 2010.

No.	Trat.	Total de Costos que varían (\$/ha)	Beneficio Neto (\$/ha)	DOMINANCIA
3	tm1	0,00	1196,44	Dominado
6	tm2	0,00	1131,17	Dominado
9	tm3	0,00	1575,61	No dominado
12	tm4	0,00	1635,33	Dominado
7	c2m3	19,37	1840,89	No dominado
8	c4m3	19,37	1629,78	Dominado
10	c2m4	21,97	1540,89	Dominado
11	c4m4	21,97	1207,56	Dominado
1	c2m1	27,37	1267,28	Dominado
2	c4m1	27,37	1125,61	Dominado
4	c2m2	29,47	1127,00	Dominado
5	c4m2	29,47	1027,00	Dominado

El objeto del Análisis de la Tasa de Retorno Marginal fue revelar exactamente como los beneficios netos de esta inversión aumentan al incrementar la cantidad invertida.

En Amaguaña, Tabla 82, al realizar el Análisis de Retorno Marginal de los tratamientos No Dominados se observó que el tratamiento c2m3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar + método de inoculación líquido a la semilla) tuvo una Tasa de Retorno Marginal en % de 2782,46; es decir, que por \$1,00 (dólar americano) invertido en adquirir y utilizar el biofertilizante de *Azospirillum* spp, el agricultor recupera \$1,00 (dólar americano) y obtiene \$ 27, 82 (dólares americanos) por hectárea [ha], y en Quinchuquí, Tabla 83, la Tasa de Retorno Marginal en % fue 1369,53, donde por \$1,00 dólar invertido el agricultor recupera el \$1,00 y obtiene de ganancia \$ 13,69 (dólares americanos) por hectárea [ha].

**Tabla 82.** Tasa de Retorno Marginal de los tratamientos en estudio. Amaguaña – Pichincha. 2010

No.	Trat.	Costos que varían (\$/ha)	Costos marginales (\$/ha)	Beneficios Netos (\$/ha)	Beneficios netos marginal (\$/ha)	Tasa de Retorno Marginal (%)
6	tm2	0,00	19,37	1400,00	538,96	2782,46
7	c2m3	19,37		1938,96		

**Tabla 83.** Tasa de Retorno Marginal de los tratamientos en estudio. Quinchuquí - Imbabura. 2010

No.	Trat.	Costos que varían (\$/ha)	Costos marginales (\$/ha)	Beneficios Netos (\$/ha)	Beneficios netos marginal (\$/ha)	Tasa de Retorno Marginal (%)
9	tm3	0	19,37	1575,61	265,28	1369,53
7	c2m3	19,37		1840,89		

#### 4.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

En Amaguaña, para las variables: altura de planta, altura de inserción de mazorca en planta, nitrógeno total en planta y población de hongos en suelo. En Quinchuquí, para las variables altura de inserción de mazorca en planta, población de bacterias degradadoras de celulosa, actinomicetes, hongos y *Azospirillum* spp. en suelo.

Se rechazan las hipótesis nulas y se aceptan las alternativas:

- 1. Los métodos de inoculación de cepas de *Azospirillum* spp. influyeron en la eficiencia de las cepas para el mejoramiento de la producción y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.), de las variedades INIAP 122 y 102.**

Los métodos de inoculación de *Azospirillum* spp. fueron los apropiados para esta especie vegetal, hicieron posible que una población óptima de  $2 \times 10^9$  UFC/ml de *Azospirillum* spp. actúe de manera beneficiosa sobre la planta demostrando la calidad del inoculante y las buenas técnicas de inoculación en campo que se emplearon para asegurar que la cantidad de bacterias aplicadas sea la del inoculante. Estas incluyen la esterilidad hasta su transporte al campo y la siembra en condiciones ambientales favorables.

El método de inoculación líquido y sólido a la semilla permitió que las bacterias se encuentren adheridas a la zona de germinación y nacimiento de raíces, sin desmerecer, a la inoculación líquida y sólida al suelo, donde al ser depositado el inoculante antes de la semilla, las bacterias se encontraron en la zona de elongación de raíces. Ambas inoculaciones le permitieron a *Azospirillum* spp. adherirse a las raíces y ser parte de las actividades metabólicas de las plantas de maíz (Zvietcovich, 2004).

## **2. Las cepas de *Azospirillum* spp. permitieron el crecimiento y desarrollo del maíz, variedades INIAP 122 y 102.**

Esta población de *Azospirillum* spp. se adaptó y multiplicó en la rizósfera mejorando la biodiversidad del suelo y la interacción planta microorganismo, donde la mayoría de los sustratos necesarios para el crecimiento microbiano y síntesis de hormonas vegetales fueron producidas por la bacteria.

La presencia de AIA y compuestos derivados de los exudados vegetales, fue suficiente para que *Azospirillum* incremente la expresión del gen *ipdC* con el consecuente aumento de la síntesis de AIA, que dió inicio a la respuesta celular y permitió la germinación de la semilla de maíz, el incremento en la longitud y volumen de raíces, lo que mejoró la absorción de nutrientes que luego se acumularon en tallos y hojas, induciendo un cambio significativo en varios parámetros de crecimiento. Finalmente una gran cantidad de estos minerales fueron transferidos a las panículas y espigas incrementando así el rendimiento. Sin embargo, no se

obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento del maíz, lo cual es aún investigado (Bashan, *et al*, 1995).

Los microorganismos del suelo tuvieron una acción asociativa y antagonista con la población nativa e inoculada de *Azospirillum*. Las bacterias degradadoras de celulosa ayudaron al crecimiento de *Azospirillum* spp. al degradar los residuos vegetales del suelo y hacerlos aprovechables por la bacteria y las bacterias solubilizadoras de fósforo degradaron e inmovilizaron el fósforo del suelo para permitirle a la bacteria fijar el N<sub>2</sub> en forma asociativa. Se reporta que los actinomicetes y hongos tienen una acción antagonista sobre *Azospirillum* spp., sin embargo este no fue el caso, esto se debió posiblemente a la capacidad que tienen algunas cepas de esta bacteria de producir sideróforos para protegerse de otros miembros de la comunidad microbiana e incluso de patógenos de plantas (Caballero, 1998).

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

- 5.1.1 El mejor método de inoculación fue líquido a la semilla, que conjuntamente con las técnicas agronómicas y la mínima fertilización inorgánica, facilitaron el establecimiento de la bacteria en la rizósfera, mejorando la interacción planta – microorganismo y la síntesis de hormonas vegetales, permitiendo una mayor absorción de nutrientes por la planta y el incremento de los órganos vegetativos de las variedades de maíz INIAP 122 en Quinchuquí y 102 en Amaguaña, además que permitió la fijación de nitrógeno atmosférico.
- 5.1.2 El método de inoculación líquido a la semilla permitió a la cepa c2 ser más eficiente, seguida del método de inoculación sólido a la semilla; no obstante este método no resultó ser el dominante para la cepa c3, que actuó mejor con la aplicación líquida al suelo. Con la aplicación de con estas inoculaciones, en campo se pudo apreciar la eficiencia de las cepas en la mayoría de las características del maíz.
- 5.1.3 El método de inoculación líquido a la semilla incrementó el porcentaje de emergencia, altura de planta, altura de inserción de mazorca, evidenciándose un maíz más vigoroso con menos ataque de plagas, en las dos localidades en estudio, donde se observó incrementos en el rendimiento de la variedad INIAP 102 a 271, 99 sacos/ha, que corresponde al 14,34% y de la variedad INIAP 122 a 258,87 sacos/ha, que representa el 26,60%.
- 5.1.4 La c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar) fue la más eficiente en la producción de maíz de las variedades INIAP 122 y 102; por ser altamente competitiva con la microflora del suelo y por adaptarse a las características agroclimáticas de cada localidad en estudio.

- 5.1.5 En dependencia de los grupos microbianos que predominaron en los suelos fue la eficiencia de las cepas de *Azospirillum* spp. Así, los microorganismos del suelo tuvieron una acción asociativa y antagonista con la población nativa e inoculada de *Azospirillum*.
- 5.1.6 Los descriptores propuestos por el IBPGR (1991), CIMMYT (1986), y la norma INIEN 761, permitieron describir las características agromorfológicas de las variedades, que generalmente correspondieron a variables cuantitativas influenciadas por el ambiente y baja heredabilidad. La metodología del CIMMYT (1988) permitió obtener un análisis económico de las alternativas analizadas.
- 5.1.7 En el análisis económico se eligió el método de inoculación líquido a la semilla de *Azospirillum* spp. porque produjo un Beneficio Neto de \$ 1938,96 con una Tasa de Retorno Marginal de \$27,82/ha en Amaguaña y en Quinchuquí el Beneficio Neto fue de \$1840,89 con una Tasa de Retorno Marginal de \$13,69/ha. Estos valores representan una gran rentabilidad, ya que además de recuperar el capital invertido en la adquisición y aplicación de los biofertilizantes de *Azospirillum* spp., los agricultores obtienen ganancias en la producción de maíz de las variedades INIAP 102 y 122.

## **5.1 RECOMENDACIONES.**

- 5.2.1 Aplicar la mejor metodología de inoculación de esta bacteria para ampliar la información sobre el empleo eficiente de los biofertilizantes en el cultivo de maíz de las variedades INIAP 102 en Amaguaña y 122 en Quinchuquí.
- 5.2.2 Para apreciar otros efectos de la bacteria en cultivos de importancia económica, se debe implementar más ensayos en diferentes localidades con suelos y condiciones climáticas diferentes.
- 5.2.3 El conocer los mecanismos por los que *Azospirillum* spp. promueve el crecimiento vegetal y colonización radicular, el estudio de los genes involucrados en la asociación planta bacteria y factores ambientales que pueden afectar la actividad y sobrevivencia en la rizósfera permitirán el diseño de técnicas de inoculación más tecnificadas.
- 5.2.4 Para difundir los beneficios del biofertilizante a base de *Azospirillum* spp. se deberá realizar conferencias y talleres dirigidos a campesinos o pequeños productores de maíz, profesionales en el área agropecuaria, alimenticia y bioquímica, estudiantes de Ingeniería Agronómica, de Alimentos, Bioquímica o afines.

## **CAPITULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS.**

**6.1.1 TÍTULO.-** “Aplicación del inoculante líquido de *Azospirillum* spp. de Bolívar mediante la metodología de aplicación simultánea al suelo y a la semilla de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102, en las provincias de Imbabura y Pichincha”.

#### **6.1.2 UNIDAD EJECUTORA.**

-Programa de Maíz de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

-Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos (FCIAL) de la Universidad Técnica de Ambato (UTA).

#### **6.1.3 BENEFICIARIOS.**

-Campesinos o pequeños productores de maíz.

-Profesionales en el área agropecuaria, alimenticia y bioquímica.

-Estudiantes de Ingeniería Agronómica, de Alimentos, Bioquímica o afines.

#### **6.1.4 DIRECTORES DEL PROYECTO.**

-Ing. Carlos Yánez.

-Ing. Francisco Clavijo.

#### **6.1.5 PERSONAL OPERATIVO.**

-Técnicos del Programa de Maíz del INIAP.

-Egda. Gabriela Ortíz.

- Egresados de la Carrera de Ingeniería Bioquímica o en Alimentos de la FCIAL.

**6.1.6 TIEMPO DE DURACIÓN.-** 12 meses

**6.1.7 FECHA DE INICIO.-** Enero, 2011

**6.1.8. LUGAR DE EJECUCIÓN.-** Provincias de Pichincha e Imbabura.

## **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.**

Entre los años 2004 y 2006, en el INIAP, se evaluó la eficiencia de cepas de *Azospirillum* spp. recolectadas del suelo y raíces de maíz de gran parte de la serranía del Ecuador, en variedades del Programa de Maíz, en invernadero y en campo.

Posteriormente, se decidió evaluar las cepas de *Azospirillum* spp., que mostraron gran capacidad para mejorar las características morfológicas del maíz y aumentar el rendimiento, en complemento con diferentes niveles fertilización inorgánica; demostrando que la bacteria actuó favorablemente con la aplicación del 50% de fertilización. Es así, que hasta el momento, se tiene identificadas las mejores cepas de *Azospirillum* spp. para la elaboración de un biofertilizante a nivel comercial (Yáñez ,*et al.*, 2004).

Ya en el año 2010, para optimizar la aplicación en campo de c2 (cepa de *Azospirillum* spp. de Bolívar) y c3 (cepa de *Azospirillum* spp. de Chimborazo); se evaluaron cuatro métodos de inoculación más conocidos por los agricultores: líquido al suelo y a la semilla; y sólido al suelo y a la semilla, en dos sectores de la serranía. De esta investigación se pudo concluir que, el método de inoculación líquido a la semilla permitió a la cepa c2 ser más eficiente, seguida del método de inoculación sólido a la semilla; no obstante este método no resultó ser el dominante para la cepa c3, que actuó mejor con la aplicación líquida al suelo. Con la aplicación de con estas inoculaciones, en campo se pudo apreciar la eficiencia de las cepas en la mayoría de las características del maíz.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN.**

La creciente demanda de productos orgánicos evidencia la necesidad de conservar la variabilidad existente en el Ecuador de cepas de *Azospirillum* spp., así como también, validar el biofertilizante desarrollado en años anteriores, lo cual permitirá a las entidades comerciales y de investigación producir, distribuir y comercializar el producto, elevando a mediano plazo la productividad con menores costos, reduciendo el uso de fertilizantes químicos, disminuyendo el impacto ambiental por el uso excesivo de los mismos, lo que producirá un incremento en el rendimiento y rentabilidad del cultivo, mayores ingresos económicos y un mejor bienestar familiar de los agricultores.

Por esta razón, es necesario potenciar una buena colonización de *Azospirillum* spp. en las raíces del maíz a través de la aplicación simultánea de un inoculante líquido al suelo y a la semilla. De esta manera, se asegura la presencia de una gran población de cepas efectivas de *Azospirillum* spp. de Bolívar en la zona de emergencia de la semilla donde existe la mayor interacción con la planta de maíz, para que pueda ejercer su efecto promotor sobre las plantas de maíz.

### **6.4 OBJETIVOS.**

#### **6.4.1 GENERAL:**

-Aplicar el inoculante líquido de *Azospirillum* spp. de Bolívar mediante la aplicación simultánea al suelo y a la semilla de maíz (*Zea mays* L.), variedades INIAP 122 y 102, en las provincias de Imbabura y Pichincha.

#### **6.4.2 ESPECÍFICOS:**

- Aplicar simultáneamente al suelo y a la semilla de las variedades de maíz INIAP 122 y 102, el inoculante líquido de *Azospirillum* spp. en las provincias de Imbabura y Pichincha.

- Investigar sobre la aplicación simultánea de Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal a suelo y a la semilla.
- Difundir la aplicación de inoculantes líquidos de *Azospirillum* spp. de Bolívar al suelo y a la semilla de las variedades INIAP 102 y 122.

## 6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

La propuesta de esta investigación se hace factible para mejorar la producción de maíz en la sierra ecuatoriana, además de mejorar la economía de los productores. A continuación en la Tabla 84, se observa, los valores económicos de la propuesta.

**Tabla 84.** Valores económicos de la propuesta.

	<b>INIAP</b>	<b>Graduando</b>
<b>Recursos Humanos</b> Graduando	\$ 2000	\$ 1000
<b>Recursos Físicos</b> Materiales, equipos y	\$ 3650	
<b>Recursos Económicos</b> Transporte		\$350
Imprevistos		\$100
Publicaciones		\$250
SUMAN	\$5650	\$1700
TOTAL	\$7350	

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

## 6.6 FUNDAMENTACIÓN.

### 6.1.1 MÉTODOS DE INOCULACIÓN DE *Azospirillum* spp.

#### **Definición.**

Es el proceso de diseminar artificialmente al suelo o a la semilla con microorganismos adecuados proporcionando al cultivo un elevado número de microorganismos, capaces de multiplicarse en la rizósfera de la plántula para realizar una efectiva y elevada fijación de nitrógeno (Zvietcovich, 2004).

### **Ventajas.**

Asegura la provisión de bacterias benéficas para nutrir tempranamente al cultivo y maximizar su producción, además permite la sobrevivencia de la bacteria en condiciones reales de campo. La elección a tiempo de un método de inoculación permite optimizar la eficiencia del inoculante, por lo que este tiene una duración limitada y la posibilidad de sufrir contaminaciones.

### **Tipos de Métodos.**

En la Tabla 85 se detalla los métodos de inoculación mayormente empleados.

**Tabla 85.** Tabla Resumen de las metodologías de inoculación de *Azospirillum* spp.

<b>Tipo</b>	<b>Dosis de inoculante</b>	<b>Forma de aplicación</b>	
<b>Método Líquido al suelo</b>	10 ml/Kg de semilla de maíz (Nitragin, 2002)  Concentración entre	Suspender en vehiculizantes ( agua, medio de cultivo, etc)  de acuerdo al tamaño y	El inoculante, antes de la semilla (Ventimiglia y Carta. 2005).
<b>Método Líquido a la semilla</b>	$1 \times 10^8$ a $1 \times 10^9$ UFC/g de suelo (FAO, 2001).	cantidad de semilla (Nitragin, 2002)	La semilla embebida en el inoculante por 10 min (Canto, 2004)

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz.

## 6.7 METODOLOGÍA.

**Tabla 86.** Modelo Operativo (Plan de Acción)

<b>Fases</b>	<b>Metas</b>	<b>Actividades</b>	<b>Responsable</b>	<b>Recursos</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>Tiempo</b>
1. Formulación de la propuesta	Revisión bibliográfica	Preparar el inoculante líquido de <i>Azospirillum</i> spp. de Bolívar.	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$1550	2 meses
2. Desarrollo preliminar de la propuesta	Cronograma de la propuesta	Pruebas preliminares sobre inoculación líquida al suelo y a la semilla de maíz	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$800	3 meses
3. Implementación de la propuesta	Ejecución de la propuesta	Aplicación en campo de metodologías de inoculación líquida al suelo y a la semilla.	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$2000	1 meses
4. Evaluación de la propuesta	Comprobación del proceso de la implementación.	Evaluación en plantas de maíz	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$3000	6 meses

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz

## 6.8 ADMINISTRACIÓN.

**Tabla 87.** Administración de la propuesta.

<b>Características a mejorar</b>	<b>Situación actual</b>	<b>Resultados esperados</b>	<b>Actividades</b>	<b>Responsables</b>
-Biodiversidad del suelo.	Biofertilizante a base de <i>Azospirillum</i> spp. en almacenamiento.	-Aumento de los procesos biológicos en el suelo.	-Calcular la población de microorganismos del suelo antes de la inoculación y después del ciclo de cultivo.	Técnicos del Programa de Maíz
-Productividad y rendimiento del maíz.		-Mayor desarrollo y rendimiento del maíz	-Evaluar las características de las variedades de maíz y comparar con el testigo y con los resultados experimentales	
-Agricultores con pocos recursos económicos.		-Mayor rentabilidad para los agricultores.	-Analizar las ventajas económicas de uso de los biofertilizantes.	

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz.

## 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Tabla 88. Previsión de la evaluación de la investigación propuesta.

Preguntas	Explicación
<b>Básicas</b>	
<b>Quiénes solicitan evaluar?</b>	-Técnicos del Programa de Maíz de la EESC del INIAP, en Amaguaña, Pichincha -Estudiantes y profesores del Colegio Fernando Cháves, en Quinchuquí, Imbabura.
<b>Por qué evaluar?</b>	-Porque se pretende tener más información acerca de la efectividad de las cepas de <i>Azospirillum</i> spp. mediante la aplicación simultánea del inoculante al suelo y a la semilla.
<b>Para qué evaluar?</b>	-Mejorar las características productivas del maíz y brindar mayor beneficio a los agricultores y consumidores.
<b>Qué evaluar?</b>	-Características agromorfológicas del maíz. -Población de microorganismos (actinomicetes, bacterias solubilizadoras de fósforo, hongos, bacterias degradadoras de celulosas) Población de <i>Azospirillum</i> spp. en el suelo. -Nitrógeno total en suelo y en planta.
<b>Quién evalúa?</b>	-Técnicos del Programa de Maíz de la EESC del INIAP -Egresados de las carreras de Ingeniería Agronómica, Alimentos, Bioquímica o afines.
<b>Cuándo evaluar?</b>	-Las características agromorfológicas se evalúan en diferentes etapas del ciclo de cultivo del maíz. -La población de <i>Azospirillum</i> spp. y el porcentaje de nitrógeno en el suelo se evalúa al inicio y al final del ciclo de cultivo y en planta únicamente al final.

<b>Cómo evaluar?</b>	<p>-Las características agromorfológicas del maíz se evalúa a través de métodos de evaluación agronómica.</p> <p>-La población microbiológica de <i>Azospirillum</i> spp. se evalúa a través de análisis microbiológicos</p> <p>-El contenido de nitrógeno en suelo y planta se evalúa a través de análisis químico.</p>
<b>Con qué evaluar?</b>	<p>-Observación directa.</p> <p>-Medios de cultivo específicos y técnicas de microbiología adecuadas.</p> <p>-Reactivos para determinación de nitrógeno total.</p>

**Elaborado por:** Gabriela Ortíz.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### BIBLIOGRAFÍA.

- AGROPANORAMA, 2010. Producción mundial de maíz 2010/11. Una forma de ver el Agro en América Latina. Buenos Aires -Argentina. [http://www.agropanorama.com/news/001\\_enero2008/05\\_28a100/01\\_global\\_ProduccionMundialMaiz.htm](http://www.agropanorama.com/news/001_enero2008/05_28a100/01_global_ProduccionMundialMaiz.htm)
- BASHAN, Y., HOLGUIN, G., FERRERA – CERRATO, R. 1995. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos I. Departamento de Microbiología. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIB). México DF – México.
- BASHAN, Y. 1997. Aplicaciones Biotecnológicas en Ecología Microbiana. Cundinamarca, CO. Pontificia Universidad Javeriana – Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste. pp. 1 a 3.
- BASHAN, Y. Y HOLGUIN, G. 1997. Aplicaciones Biotecnológicas en Ecología Microbiana. Pontificia Universidad Javeriana. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Cundinamarca. Pp: 1-3.
- BERNAL, G. & GRAHAM, P. 2001. Diversity in the rhizobia associated with *Phaseolus vulgaris* L. in Ecuador, and comparisons with Mexican bean rhizobia. Canadian Journal of Microbiology. 47(6):530-531
- BERNAL, G., SUAREZ, A., JEREZ, M., CAMPAÑA, D. 2002. Inoculación de la semilla de leguminosas con la bacteria *Rhizobium*. Plegable Divulgativo No. 195. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito – Ecuador.
- CABALLERO, J. 1998. El género *Azospirillum*. Programa de Ecología Molecular y Microbiana. Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno. UNAM. Ap. P. 565-A. Cuernavaca – México. Disponible <http://biblioweb.dgsc.unam.mx/libros/microbios/cap10>.
- CANTO, J., MEDINA, S., MORALES, D. 2004. Efecto de la inoculación con *Azospirillum* spp. en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense jacquin*).

Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems. Vol 4. Yucatán México. Pp: 21 – 27.

- CIMMYT, 1986. Manejo de ensayos e informe de datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT. México. Pp. 13.
- CIMMYT, 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México DF – México. P. 79.
- DOBEREINER, J., MARRIEL, I., NERY, L. 1976. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum*. Beijerinck. Microbiology 22 (10): 1464, 1473.
- DOBRONSKI, J., SILVA, E. Y VÁSQUEZ, J. 1999. Control del gusano de la mazorca de maíz mediante el uso de aceite vegetal. Plegable Divulgativo No. 166. INIAP - COSUDE. Quito - Ecuador.
- EL LICEO DIGITAL, 2009. Filosofía. El Liceo Virtual Disponible en: <http://www.liceodigital.com/filosofia/logica.htm#concepto>. Consultado, 11 de Feb. 2009.
- ENRÍQUEZ, G. 1991. Descripción y evaluación de los Recursos Filogenéticos: Técnicas para el manejo y uso de los recursos genéticos vegetales. Quito, Ecuador. INIAP. Departamento de Recursos Filogenéticos. pp. 116-117.
- ESPINOZA, L. 2004. Caracterización y selección de la bacteria diazotrófica *Azospirillum* spp., asociado con el maíz de altura (*Zea mays* L). Tesis Doctor en Biología. Universidad Central de Ecuador. Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias. Educación Escuela de Biología.
- FALLICK, E., OKON, Y., FISCHER, M. 1988. Growth response of maize roots to *Azospirillum* inoculation. Effect of soil organic matter content, number of rhizosphere bacteria and tuning of inoculation. Soil Biol. Biochem. 20: 25 a 49.
- FAO, 2001. Technical Expert Meeting on increasing the use of Biological Nitrogen Fixation (BNF) in agriculture. [www.fao.org](http://www.fao.org).

- FRIONI, L. 1999. Procesos Microbianos. Tomo II. Editorial de la fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. P. 286.
- GIRARD, H. Y ROUGIEX, R. 1964. Técnica de Microbiología Agrícola. Zaragoza – España. Pp: 244, 27.
- HASSOUNA, M., SEADY, M., SALEH, H. 1998. Biocontrol of soil borne plant pathogens attacking cucumber (*Cucumis sativus*) by rhizobacteria in a semiarid environment. Arid soil Res. p. 345 – 357.
- HERNÁNDEZ, 2003. Aislamiento e identificación de cepas de *Azospirillum*, y evaluación de su capacidad para suplir las necesidades de nitrógeno en plantas de *Oryza sativa* (arroz). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Biología. Carrera de Ingeniería en Biotecnología. Cartago.
- HILL, T. 1984. Hormonas Reguladoras del Crecimiento Vegetal. Ediciones Omega, Barcelona.
- IBPGR, 1991. Descriptors for Maíz. International Maíz and Wheat Improvement Center. Mexico City. International Board for Plant Genetic Resources. Rome. pp. 9 a 25.
- INAMHI, 2005. Anuario Meteorológico. Quito- Ecuador.
- INEN 761., 1991. Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1961:1991 para la industria alimentaria, productos agrícolas, hortalizas, choclo maíz tierno. [www.inen.gov.ec/normas/index2.php](http://www.inen.gov.ec/normas/index2.php).
- KLOPPER, J., ZABLOTOWICZ, R., TIPPING, E., LIFSHITZ, R. 1991. Plant growth promotion mediated by bacterial rhizosphere colonizer. Pp. 315-326.
- KREMER A., 1997. El Positivismo. (en línea). Editorial Cruz O., S.A. D.F. – México. Disponible en: [http://books.google.com.ec/books?id=1Npj6qQyhx0C&printsec=frontcover&dq=positivismo&hl=es&ei=mIsETIPWJ4O0IQe5o8TXBg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=1Npj6qQyhx0C&printsec=frontcover&dq=positivismo&hl=es&ei=mIsETIPWJ4O0IQe5o8TXBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false). Consultado, 31 May. 2010.

- MARTÍNEZ, R., LÓPEZ, M., DIBUT, B., PARRA, C., RODRÍGUEZ, J. 2008. La fijación biológica de nitrógeno atmosférico en condiciones tropicales. Gobierno Bolivariano de Venezuela. Ministerio del Poder Popular para la Agricultura.
- MEDINA, H. 2009. Situación Mundial de Maíz. CEEES. Comité Ciudadano de Evaluación de Estadística Económica de Sinaloa.
- MICHAEL, R., CHIRINOS, H., LAGOS, A. 1998. Manual Agronómico de Análisis de suelos y plantas. Laboratorios de México, S.A. de CV. México DF- México.
- MOLINA, S. 2006. Desarrollo de un biofertilizante a partir de cepas de *Azospirillum* spp. para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedad INIAP-102 con dos fertilizaciones químicas y dos fertilizaciones orgánicas. Universidad Técnica de Cotopaxi. Ciencias Agrícolas, Ambientales y Veterinarias. Tesis Ingeniero Agrónomo.
- NATURE FARMING INTERNATIONAL RESEARCH FOUNDATION, 1992. Standards of nature farming systems and practices. 2 ed. Atami. Japan.
- NIETO, C; REA, J; CASTILLO, R; PERALTA, E. 1984. Guía para el manejo y preservación de los recursos fitogenéticos. Publicación Miscelánea # 47. INIAP. Quito, Ecuador. 59 p.
- NITRAGIN, 2002. Guía de Inoculantes. Argentina. <http://www.nitragin.com.ar/guiainoc3.asp#Uso%20y%20Aplicación>.
- NOVO, R. 2002. Memorias curso internacional de microbiología de suelos, los biofertilizantes y la biofertilización. Quito - Ecuador. ASOINCO.
- OKON, 1985. *Azospirillum* as a potential inoculant for agriculture. Trends in Biotechnology. Pp. 223-228.
- OKON, Y. & LABANDERA-GONZÁLEZ, C. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. Soil Biol. Biochem. 26:1591-1601.

- PALIWAL, R. 2001. Introducción al maíz y su importancia. El maíz en los trópicos. Deposito de Documentos de la FAO. Departamento de Agricultura.
- PEOPLES, M. & CRASWELL, M. 1992. Biological Nitrogen Fixation: Investments, expectations and actual contributions to Agriculture. *Plant and Soil* 141: 13 – 39.
- PERTICARI, A. 2005. Inoculación de calidad para un máximo aprovechamiento de la FBN. Mundo Soga. IMYZA INTA Castelar.
- RITCHIE, S., HANWAY, J., BENSON, G. 2003. Como se Desarrolla una Planta de Maíz. Universidad de Ciencia y Tecnología del Estado de Iowa. Edit. INPOFOS. Reporte especial No. 48. Canadá - Estados Unidos. Pp. 3 a 21.
- RODRÍGUEZ, E. & CÁCERES, A. 1982. Improved medium for isolation of *Azospirillum* spp., *Applia Microbiology and Environmental*. 44(2): 940 a 991.
- SALAZAR, P. 1990. El Cultivo de Maíz en el Estado Trujillo. Ingeniero Agrónomo. Divulgativo. FONAIAP - Estación Experimental Trujillo. No. 33. Valera.
- SAUBIDET, M., FATTA, N., BARNEIX, A. 2002. The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on growth and nitrogen utilization by wheat plants. *Plant Soil* 245:215-22
- SAURA, G., FERNANDEZ, R., HIDALGO, J. 2003. Fijador de Nitrógeno, *Azospirillum* spp. Edit FIAGRO (Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria), El Salvador. Pp: 1-2.
- SESA. 2006. Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria). Acuerdo Ministerial N-º 302, Registro Oficial 384 del 25 de Octubre del 2006. [Acuerdo%20Ministeria%20302.pdf](#).
- SIGAGRO, 2009. Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria. Ministro de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <http://sigagro.flunal.com/>.

- <sup>a</sup>SILVA, E., DOBRONSKY, J., CAVIEDES, M., YÁNEZ, C., ZAMBRANO, L., HEREDIA, J. 2000. Variedad de Maíz Blanco Harinoso para la provincia de Chimborazo. “Blanco Blandito mejorado”. INIAP 102. Boletín divulgativo No. 181. Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador.
- <sup>b</sup>SILVA, E., DOBRONSKY, J., HEREDIA, J. 2000. Variedad de Maíz Amarillo Harinoso Precoz para la provincia de Imbabura. “Chaucho mejorado” INIAP 122. Boletín divulgativo No. 159. Programa de Maíz, Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador.
- UNIVERSIDAD COMPLUTENSE, ES. 2001. Guía de prácticas de microbiología y parasitología ambiental (en línea). Facultad de Farmacia, Departamento de Microbiología II. Consultado 10 feb. 2009. Madrid – España. Disponible en <http://www.ucm.es/info/mfar/PDF/Ambiental.pdf>.
- VENTIMIGLIA, L. Y CARTA, H. 2005. Inoculación en soja: un nuevo sistema que permite mejorar la captura de nitrógeno. Técnicos de la Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa. INTA 9 de Julio. Pp: 2-3.
- YÁNEZ, C., ZAMBRANO, J., CAICEDO, M., SÁNCHEZ, H., HEREDIA, J. 2003. Catálogo de Recursos Genéticos de Maíces de Altura Ecuatorianos Programa de Maíz. EESC-INIAP. Quito - Ecuador. Pp. 2 a 5.
- YÁNEZ, C., ZAMBRANO, J., CAICEDO, M., SÁNCHEZ, H., HEREDIA, J. 2004. Informe final del Proyecto IQ-CV-102. Identificación y desarrollo de un biofertilizante para el cultivo de maíz en la sierra del Ecuador. INIAP - Ecuador. Pp. 41 a 49.
- YÁNEZ, C. 2007. Manual de producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras. Proyecto de emergencia para la rehabilitación agro productiva de la Sierra del Ecuador. FAO/TCP/ECU/3101. Quito – Ecuador. Pp: 5, 10-17.
- ZVIETCOVICH, G. 2004. Los Inoculantes. Fertilizantes Biológicos Nitrogenados para cultivo de leguminosas, gramíneas, raíces y tubérculos, hortalizas y frutales. Ediciones Monserrath. Pp: 20-24