



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLIVAR.  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, RECURSOS  
NATURALES Y DEL AMBIENTE.  
ESCUELA DE INGENIERIA AGRONOMICA.**

RESPUESTA DEL MAIZ (*Zea mays* L.) INIAP 111 AL BIOFERTILIZANTE Y FERTILIZACION NITROGENADA, EN LA GRANJA LAGUACOTO III, CANTON GUARANDA, PROVINCIA BOLIVAR.

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO OTORGADO POR LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, A TRAVÉS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE, ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA.

**AUTOR:**

GALO FERNANDO CHANGOLUISA GAVI

**DIRECTOR DE TESIS:**

ING. CARLOS MONAR BENAVIDES. M.Sc.

**INSTITUCION AUSPICIANTE:** INIAP-ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA PROGRAMA DE MAIZ.

GUARANDA – ECUADOR

2013

RESPUESTA DEL MAIZ (*Zea mays* L.) INIAP 111 AL BIOFERTILIZANTE Y FERTILIZACION NITROGENADA, EN LA GRANJA LAGUACOTO III, CANTON GUARANDA, PROVINCIA BOLIVAR.

REVISADO POR:

---

ING. AGR.CARLOS MONAR BENAVIDES. M.Sc.  
DIRECTOR DE TESIS

---

ING. AGR.KLEBER ESPINOZA MORA. Mg.  
BIOMETRISTA

**APROBADO POR LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE  
CALIFICACIÓN DE TESIS.**

---

DR. FERNANDO VELOZ. M.Sc.  
AREA TECNICA

---

ING. NELSON MONAR GAVILANES. M.Sc.  
AREA REDACCION TECNICA

## AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente a la Universidad Estatal de Bolívar, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y Medio Ambiente, fundamentalmente a la Escuela de Ingeniería Agronómica, a mis Maestros ya que son profesores de vocación, más no de profesión.

Mi sincero gratitud y reconocimiento al Ingeniero Carlos M. Monar B. M.Sc. Director de Tesis quien con sus conocimientos, experiencia su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

También el agradecimiento a los profesores durante mi carrera profesional, porque todos aportado con un granito de arena en mi formación, y en especial al Ing. Kleber Espinoza Mora Mg. (Biometrista), Ing. Nelson Monar Gavilánes (Redacción Técnica) y Dr. Fernando Veloz (Área Técnica), por sus consejos, enseñanza y por su amistad.

Finalmente agradecer al Ing. Carlos Yáñez M.Sc. Responsable del Programa de Maíz del INIAP Estación Experimental Santa Catalina, y a todos sus colaboradores por abrirme las puertas y haberme permitido realizar esta investigación.

Galo.

## DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi cariño y amor:

A ti DIOS (JAH), que me diste la oportunidad de vivir, y de regalarme una familia tan maravillosa que muchos quisieran tenerla.

Con mucho amor para mi madre María Narcisa Changoluisa Gavi, querida que me diste la vida, me engendraste, me educaste con tus valores, gracias por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre has estado apoyándome y brindándome todo tu amor y sabiduría, por todo esto te dedico esta investigación de todo corazón.

Te quiero de todo corazón y este trabajo que me llevo casi un año realizarlo es para ti, por ser el más chico de tus hijos, aquí esta lo que tú me brindaste, solamente te estoy devolviendo lo que tú me diste.

A mis hermanos Luis Eduardo, Miguel Ángel, Juan José, gracias por estar conmigo y apoyarme. Y a mi cuñada Carolina igualmente por apoyarme.

A mis compañeros especialmente para: Julián, Patricio, María José, gracias por estar conmigo en todos esos tiempos que necesitaba un apoyo que nunca me negaron, gracias de todo corazón.

Galo

## ÍNDICE

CONTENIDO	PAG.
I. Introducción	1
II. Marco teórico	4
5.1. Origen	4
5.2. Clasificación taxonómica	4
5.3. Descripción botánica	5
5.4. Variedad INIAP-111 Guagal mejorado	8
5.4.1. Origen	8
5.4.2. Zonificación	8
5.4.3. Características principales	8
5.4.4. Calidad (base seca)	9
5.4.5. Usos	9
5.4.6. Reacción a enfermedades	10
5.5. Manejo agronómico del cultivo	10
5.6. El género <u><i>Azospirillum</i></u> spp.	14
5.6.1. Antecedentes	14
5.6.2. Origen e identificación	15
5.6.3. Hábitat del género <u><i>Azospirillum</i></u> spp.	15
5.6.4. Distribución	15
5.6.5. Características	16
5.6.6. Ambiente rizosférico	16
5.6.7. Aislamiento	17
5.6.8. Asociación bacteria-planta	17
5.6.9. Colonización de las raíces	18

5.6.10. Efectos de <u><i>Azospirillum</i></u> spp, sobre las plantas	18
5.6.11. Mecanismos de estimulación del crecimiento de las plantas	19
5.6.12. Metabolismo del nitrógeno	21
5.6.13. Solubilización de fosfatos, minerales	22
5.6.114. Factores que inciden en la eficiencia de <u><i>Azospirillum</i></u> spp.	23
5.7. Biofertilizantes	24
5.7.1. Antecedentes	24
5.7.2. Concepto	25
5.7.3. Importancia de los biofertilizantes	25
5.7.4. Mecanismos de acción de los biofertilizantes	26
5.7.5. Formas de aplicación y cantidades	26
5.8. Fertilización	27
5.8.1. Fertilización inorgánica	27
5.8.2. El nitrógeno	28
5.8.3. Importancia del nitrógeno para las plantas	29
5.8.4. Incorporación del nitrógeno en las plantas	30
5.8.5. Ciclo del nitrógeno	30
5.8.6. Fijación de nitrógeno	32
5.8.7. Nitrificación	33
5.8.8. Inmovilización	33
5.8.9. Desnitrificación	34
5.8.10. Ventajas y desventajas del N en las plantas.	35
5.8.11. Fuentes de N	36
5.8.11.1 Forma de aplicación y frecuencias	39

5.8.11.2. Necesidades del maíz	40
5.8.12. Características físicas del suelo	42
5.8.12.1. Textura	42
5.8.12.2. Densidad aparente	43
5.8.12.3. Compactación del suelo	43
5.8.12.4. Estructura del suelo y agregados	43
5.8.12.5. Clasificación taxonómica del suelo	44
5.8.13. Características químicas del suelo	46
5.8.13.1. pH, acidez y alcalinidad	46
5.8.13.2. Capacidad de intercambio catiónico	47
2.8.13.3. Materia orgánica	47
2.8.13.4. Conductibilidad eléctrica	48
2.8.13.5. Macro y micro nutrientes	48
2.8.14. Características biológicas del suelo	54
2.8.14.1. Importancia	54
III. Materiales y Métodos	57
3.1. Materiales	57
3.2. Métodos	60
3.3. Métodos de evaluación y datos tomados	63
3.4. Manejo del experimento	68
IV. Resultados y Discusión	72
4.1. Variables Agronómicas para el factor A	72
4.2. Variables Agronómicas para el factor B	76
4.3. Interacciones Agronómicas A x B	79
4.4.1. Variables Biológicas para el factor A	82
4.4.2. Variables Biológicas para el factor B	86
4.4.3 Interacciones Biológicas A x B	89
4.5. Variables física del suelo	91

4.6 Variables químicas del suelo.	93
4.6. Información climática	102
4.7. Eficiencia agronómica del Nitrógeno	104
4.8. Análisis económico de maíz seco Kg/Ha.	106
V. Conclusiones y Recomendaciones	110
VI. Resumen Y Summary	113
VII Bibliografía	117

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°		PAG
1	Promedios y Tukey al 5 % para las variables agronómicas para el factor A	72
2	Promedios y Tukey al 5 % para las variables agronómicas para el factor B	76
3	Promedios y Tukey al 5 % para las variables interacciones agronómicas A x B	79
4	Promedios y Tukey al 5 % para las variables biológicas para el factor A	82
5	Curva de crecimiento de <i>Azospirillum spp</i>	83
6	Promedios y Tukey al 5 % para las variables biológicas para el factor B	86
7	Promedios y Tukey al 5 % para las interacciones biológicas A x B	89
8	Determinación de la textura y densidad aparente del suelo	91
9	Macro nutriente al inicio	93
10	Micronutrientes al inicio	94
11	pH y Materia Orgánica del suelo al inicio del ensayo	95
12	Bases (Ca), (Mg), (K) al inicio del ensayo	95
13	Promedios y Tukey al 5 % para las variables determinación del $\text{NH}_4^+$ y $\text{NO}_3^-$ del suelo al final para el Factor A	97
14	Promedios y Tukey al 5 % para las variables determinación del $\text{NH}_4^+$ y $\text{NO}_3^-$ del suelo al final para el Factor B	98
15	Promedios y Tukey al 5 % para la variable extracción de Nitrógeno de la planta para el Factor A	100
16	Promedios y Tukey al 5 % para la variable extracción	

	de Nitrógeno de la planta para el Factor B	101
17	Análisis de regresión y correlación	102
18	Eficiencia Agronómica del Nitrógeno	104
19	Análisis económico de maíz seco Kg/Ha	106
20	Análisis de dominancia en seco	108
21	Análisis Tasa marginal de retorno en seco.	109

## INDICE DE ANEXOS

### ANEXOS N°

### DESCRIPCION

1. Mapa físico de la localidad en estudio.
2. Base de datos.
3. Análisis de laboratorio del suelo
  - 3.1. Análisis de suelo macronutrientes, micronutrientes,  $\text{NH}_4^+$ , Materia orgánica al inicio del ensayo.
  - 3.2. Análisis de suelo de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  al final del ensayo.
  - 3.3. Análisis de extracción de Nitrógeno.
  - 3.4. Tabla de Mc Crady: 3 tubos por dilución (Universidad Complutense, 2001).
  - 3.5. Número más probable (NMP) inicial de *Azospirillum* spp, por gramo de suelo, en el estudio "Evaluación del biofertilizante a base de cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de Maíz (*Zea mays* L.). Variedad INIAP-111, en complemento con tres dosis de fertilización". Guaranda- Bolívar 1012.
  - 3.6. Medio NFB (Nitrogen Fixation Biological) semi-sólido (Rodríguez y Cáceres, 1982).
4. Fotos del proceso de investigación.
5. Glosario de términos técnicos.

## **I. INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial la producción de maíz en el año 2011 se estimó en alrededor de 876 millones de toneladas; un 3,8% más que en 2010. Estados Unidos quien ocupa el primer lugar con 40% de la producción total seguido de la China con 19% y Brasil con un 5%, el resto de países con porcentajes menores, y actualmente el maíz es sembrado en todos los países de América Latina (SICA. 2006).

En el Ecuador, anualmente se cultivan alrededor de 187.521 has de maíz que cubren 54.858 UPAS, con un rendimiento promedio de 2.6 t/ha, mismo que corresponde a un nivel bajo de productividad. Este cultivo a más de ser una fuente de trabajo para miles de ecuatorianos, es muy importante debido a la gran cantidad de terreno destinado a su producción y al papel que cumple como componente básico de la dieta de la población rural (Yáñez, C. 2007; SICA. 2002).

En la provincia Bolívar se cultivan anualmente 38.000 has de maíz suave harinoso tardío de tipo Guagales, de las cuales aproximadamente 25.000 has, se dedican a la producción de maíz para choclo, y 13.000 has, para la producción de grano seco. La siembra de maíz se realiza principalmente en terrenos de topografía irregular, donde prevalece el minifundio y en un 86% el sistema de producción es el maíz asociado con frejol voluble de tipo Mixturiado (Monar, C. 2012).

Estudios realizados por el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA), y la Universidad Estatal de Bolívar, sobre la nutrición del cultivo de maíz en la provincia Bolívar, han demostrado que el nitrógeno (N) es el principal elemento limitante de la producción, siendo común observar síntomas visuales de deficiencia, lo cual incide directamente en el rendimiento del cultivo (INIAP. 2007).

El nitrógeno es uno de los nutrimentos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas; ya que, procede de tres fuentes principales: las reservas orgánicas e

inorgánicas del suelo; los fertilizantes minerales, los abonos orgánicos; y la Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN) que se encuentra en la atmósfera. Sin embargo, las reservas del suelo son muy limitadas y los fertilizantes son costosos por lo que la FBN constituye una alternativa importante para mejorar la productividad de los cultivos (Milano, E. 2007).

Estudios realizados a nivel mundial y en nuestra provincia, demuestran una baja eficiencia del N, mismo que se lixivia como Nitratos, se volatiliza como Amonio y  $\text{NO}_2^-$ , dando como efecto la contaminación de acuíferos y del ambiente (Delgado, J. y Monar, C. 2010).

El Programa de Maíz de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del INIAP y con la participación de egresados de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Estatal de Bolívar, durante varios años han realizado numerosos estudios de la bacteria *Azospirillum* spp. Recolectando muestras de suelo y raíces de las principales zonas maiceras del país, logrando aislar y cuantificar cepas de *Azospirillum* spp. Las cuales se han validado en combinación con fertilizantes inorgánicos y orgánicos numerosos estudios de su aplicación en el cultivo de maíz bajo invernadero y campo y en alternativas de inoculación líquida y sólida al suelo así como a la semilla, logrando observar un incremento significativo en el rendimiento de las variedades de maíz (Yáñez, C. et. al. 2004).

El uso de cepas de *Azospirillum* spp. han mejorado la eficiencia agronómica y química del Nitrógeno en el cultivo de maíz, permitiendo reducir la dosis de nitrógeno de 120 kg/ Ha a un rango de 40 a 80 kg/Ha, dependiendo del clima, rotación de cultivos, labranza de conservación y la calidad del suelo, lo que contribuye a la sostenibilidad del sistema de producción cultivo de maíz suave (Monar, C. 2010).

Esta investigación planteó los siguientes objetivos:

- Validar la respuesta de tres cepas de *Azospirillum* spp, para la producción de maíz suave INIAP 111.
- Evaluar la respuesta de tres dosis de Nitrógeno sobre los diferentes componentes del rendimiento de maíz INIAP 111.
- Determinar la eficiencia agronómica del Nitrógeno.
- Realizar un análisis económico de Presupuesto Parcial y Tasa Marginal de Retorno para determinar el mejor tratamiento y transferir la tecnología a los productores.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ORIGEN

El maíz constituye una aportación de las culturas precolombinas al mundo. En la actualidad se acepta que es originario de América, concretamente de la zona situada entre la mitad del sur de México y el sur de Guatemala (Verissimo, L. 1999).

Desde el punto de vista académico, científico, social y económico el maíz es uno de los cultivos más útiles para el hombre; en relación a lo académico, estas plantas constituyen una de las pocas especies utilizadas para múltiples ejemplos y medios de ayuda en cursos de biología, química y agronomía; desde el punto de vista científico, constituye un recurso biológico que permite explicar teorías, principios y leyes que contribuye a los avances de las ciencias biológicas y sus aplicaciones en la agronomía; está relacionada con el aspecto social, puesto que el maíz significa trabajo, moneda, pan y religión para un gran conglomerado humano mundial; en lo relacionado al aspecto económico, genera entrada y salida de divisas, que pueden trascender en la economía de un pueblo, en la producción mundial de cereales ocupa los primeros lugares y desafía el futuro como recurso nutricional por excelencia (Reyes, P. 1995. y Jugenheimer, R. 1997).

### 2.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

División:	Magnoliophyta (Angiospermae)
Clase:	Liliopsida (Monocothyledoneae)
Orden:	Cyperales
Familia:	Poaceae
Género:	<u><i>Zea</i></u>
Especie:	<u><i>Mays</i></u>

(Cronquist, A. 1988).

## **2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA**

### **2.3.1. Planta**

El maíz es una gramínea anual de crecimiento rápido y gran capacidad productiva, adaptada a las más diversas condiciones de clima y suelo. Se constituye después del arroz y el trigo, en el cultivo más importante del mundo en la alimentación humana y vegetal (Verissimo, L. 1999).

### **2.3.2. Raíz**

La raíz primaria, o sea, la que se desarrolla en la germinación tiene corta duración. En la planta adulta todo el sistema radicular es adventicio y brota de la corona, con el ápice en la parte inferior formado por 10 entrenudos muy cortos. El tamaño y la forma del sistema radicular cambian considerablemente de acuerdo al tipo de propagación y las condiciones ambientales (Terranova, 1995).

### **2.3.3. Tallo**

El tallo de maíz está constituido por nudos y entrenudos de número y longitud variable. La parte inferior y subterránea del tallo, la corona, poseen entrenudos de los cuales salen los tallos laterales y las raíces principalmente. En los entrenudos siguientes, en especial en las plantas jóvenes existe una zona de crecimiento activa ubicada en la parte inferior del entrenudo, de una longitud menor a 0.5 mm de ancho, en la que se producen tejidos nuevos (Maroto, J. 1998).

#### **2.3.4. Hojas**

Están constituidas por vaina, cuello y lámina. La vaina es una estructura cilíndrica abierta hasta la base, que sale de la parte superior del nudo, mientras que el cuello es la zona de transición entre la vaina envolvente y la lámina abierta. La Lámina es una banda angosta y delgada de hasta 1.5 m de largo por 10 cm de ancho que termina en un ápice muy agudo. El nervio central está bien desarrollado, es prominente en el envés de la hoja y cóncavo en la parte superior (Terranova. 1995).

#### **2.3.5. Inflorescencia Masculina**

La inflorescencia masculina o panoja, normalmente se hace visible entre las últimas hojas de la planta, de siete a diez días antes de que aparezcan los estilos de la inflorescencia femenina. Generalmente de dos a tres días antes de comenzar la liberación del polen, se elongan los entrenudos de la parte alta del tallo impulsando a la panoja, la cual queda completamente desplegada; la planta, en ese momento, alcanza su altura definitiva (Maroto, J. 1998).

#### **2.3.6. Inflorescencia Femenina**

Corresponde a una espiga. La espiga, por su parte, se presenta cubierta por brácteas u hojas envolventes. La espiga, conjuntamente con las brácteas, conforma la mazorca. La mazorca apical determina su número de óvulos 15 a 20 días antes de la emisión de estilos, presentando en ese momento entre uno y dos cm de longitud. La cantidad de óvulos de la mazorca apical puede variar entre 500 y 1000. La inflorescencia femenina está conformada por espiguillas; cada espiguilla, a su vez, contiene dos flores, de las cuales sólo una logra emitir su estilo; la otra flor aborta, originándose, por lo tanto, sólo un grano por cavidad (Maroto, J. 1998).

### **2.3.7. Frutos**

En el maíz la mazorca es compacta y está formada por hojas transformadas que en la mayoría de los casos la cubre por completo. El eje de inflorescencia recibe el nombre de tusa en América del Sur y el de elote en México y América Central. La zona de inserción de los granos esta formada principalmente por las cúpulas; órganos característicos de ciertas poaceas que tiene forma de copa, con paredes, cuya base angosta se conecta con el sistema vascular del cilindro central (Terranova. 1995).

### **2.3.8. Semillas**

La semilla de maíz está contenida dentro de un fruto denominado carióspside; la capa externa que rodea este fruto corresponde al pericarpio, estructura que se sitúa por sobre la testa de la semilla. Este última está conformada internamente por el endospermo y el embrión; el cual, a su vez está constituido por la coleoriza, la radícula, la plúmula u hojas embrionarias, el coleóptilo y el escutelo o cotiledón (Maroto, J. 1998).

### **2.3.9. Ciclo vegetativo**

El ciclo vegetativo del maíz empieza con la nascencia, de unos seis u ocho días de duración, y comprende desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo. Una vez el maíz germinado, empieza el período de crecimiento en el cual aparece una nueva hoja cada tres días, si las condiciones de cultivo y clima son normales a los veinte días de la nascencia, la planta deberá tener unas cinco o seis hojas, alcanzándose su plenitud foliar dentro de la cuarta o quinta semana. Se considera como la fase de floración el momento en que la panoja, formada en el interior del tallo, se encuentra emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos, la emisión del polen suele durar, en función de la temperatura y de la disponibilidad hídrica, unos ocho o diez días.

Con la fecundación de los óvulos por el polen, se inicia la fructificación, finalizada la cual los estilos de la mazorca viran a un color castaño. La mazorca toma su tamaño definitivo a la tercera semana después de la polinización, se forman los granos y dentro de ellos, el embrión. Seguidamente, los granos se llenan de una sustancia lechosa, rica en azúcares, que se transforma, al final de la maduración, en almidón al mes y medio de la polinización, que corresponde con el final de la octava semana, el grano alcanza su madurez fisiológica conteniendo su máximo de materia seca suele tener entonces el 33 % de humedad, posteriormente, debido a las condiciones ambientales de humedad y temperatura, el grano se seca y se va aproximando a su madurez comercial (Herrera, J. 2001).

El maíz INIAP-111 Guagal Mejorado tiene un rango de 10 a 14 días en la emergencia de plántulas (Monar, C. 2012. Comunicación personal).

## **2.4. VARIEDAD INIAP-111 GUAGAL MEJORADO**

### **2.4.1. Origen**

Fue desarrollada con la participación de técnicos y agricultores y se caracteriza por ser tardía, de porte bajo (en comparación a las variedades que poseen los agricultores), con resistencia de acame, así como de buen rendimiento y calidad de grano para choclo y seco. Se adapta a altitudes entre los 2.400 a 2.800 msnm, y fue formada con base a variedades locales colectadas en casi toda la provincia Bolívar en 1989 y 1993. Las variedades que presentaron buenas características agronómicas y de calidad de grano, tanto en choclo como en grano seco durante los ciclos de cultivo (1993 – 1995), se cruzaron entre ellas para formar la población Guagal, la cual se seleccionó durante tres ciclos en tres localidades de esta provincia (INIAP. 1997).

### 2.4.2. Zonificación

Esta variedad se cultiva en la provincia de Bolívar en altitudes comprendidas entre los 2400 a 2800 msnm (INIAP. 2003).

### 2.4.3. Características Principales

Características agronómicas del maíz INIAP-111

<b>Características</b>	
Tipo	Suave, tardío
Grano	Blanco, harinoso
Días a la cosecha	265
Cosecha en choclo	208
Altura de planta (cm)	270
Altura de la mazorca (cm)	160
Rendimiento en seco	4091kg/ha (90qq/ha)
Rendimiento en asociación	3400kg/ha (75qq/ha)
Asociación con frejol	Soporta

Fuente: (INIAP. 2003).

\* Datos obtenidos en localidades que varían de 2 400 a 2800 msnm.

#### 2.4.4. Calidad (base seca)

- Cuadro 3: Características de calidad INIAP-111

<b>Rubro</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Ceniza	1.53
Fibra	2.80
Proteína	9,33
Extracto libre de N	81.06

Fuente: (Departamento de Nutrición y Calidad de la E.E.S.C) 1997.

#### 2.4.5. Usos

Esta variedad es muy apetecida en la alimentación humana en estado fresco (choclo), y en grano seco es apreciada para la elaboración de tostado, mote, chicha, humitas, tortillas, harina, etc. (INIAP. 2003).

#### 2.4.6. Reacción a enfermedades

Esta variedad es tolerante a la enfermedad “Roya” causada por el hongo ***Puccinia** sp.* Asimismo es tolerante a la “pudrición de la mazorca” causada por el hongo ***Fusarium moniliforme*** (INIAP. 1997).

## **2.5. MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO**

### **2.5.1. Época de siembra**

En nuestra provincia con la variedad INIAP-111 Guagal Mejorado y dependiendo de la zona agroecológica, la época de siembra se inicia en noviembre y puede extenderse hasta el mes de marzo (Monar, C. 2012).

En climas templados se siembran después de las heladas, en climas semiáridos, se siembran al inicio de la estación de lluvias. En ambos casos se debe esperar que la temperatura del suelo alcance 10°C (Parsons, D. 1988 y CIMMYT. 1988).

### **2.5.2. Preparación del suelo**

Se recomienda preparar el suelo con 2 meses de anticipación para facilitar la descomposición de residuos. Las labores de arado, rastrado y surcado pueden realizarse con tractor o yunta (Noroña, J. 2008).

### **2.5.3. Labranza Mínima o no Convencional**

Este sistema se recomienda en aquellas regiones en donde la precipitación es baja o con mala distribución y en aquellos lugares donde no es posible utilizar maquinaria agrícola; ya sea, porque son suelos con mucha pendiente o no existe maquinaria (Lafitte, H. 1994).

La forma más rentable consiste en aplicar Gramoxone (2 litros por hectárea) más Gesaprin 80 (1,5 Kg. por hectárea) antes que el cultivo emerja (Lafitte, H. 1994).

Investigaciones realizadas en otros países señalan algunas ventajas que presenta el sistema:

- Rendimientos más altos.
- Costos de producción reducidos.
- Mejor retención del agua.
- Menor erosión.
- Baja compactación al no permitir la formación de estratos impermeables a poca profundidad.
- Siembras en épocas sin considerar relativamente húmedas pues se pueden realizar siembras tempranas y obtener más y mejores cosechas.
- Buena aireación y desarrollo radicular, sin alterar las condiciones del terreno, permitiendo la formación de canales internos por acción de procesos biológicos y naturales (acción de lombrices, gusanos, raíces dilatación o contracción del suelo debido a cambios en su estado de humedad, etc.) (Suquilanda, M. 1996).

Sin embargo, la adaptación de un sistema para reducir la labranza presenta ciertas limitaciones como:

- Una mayor utilización de herbicidas para el control de malezas.
- Falta de investigación en cuanto a herbicidas selectivos para los diversos cultivos en mezclas de productos que resuelvan oportunamente el problema de malezas.
- Posibilidad de que la cobertura dejada en el campo atraiga o presente condiciones propicias para la propagación de nuevas plagas y enfermedades (Suquilanda, M. 1996).

Debido a la intolerancia de la bacteria a los productos químicos cuando se utilice el *Azospirillum* spp, no se deberá utilizar ninguno de estos productos antes mencionados, y los controles de malezas se los realizara manualmente cuantas veces el cultivo lo requiera.

#### **2.5.4. Densidad de la Siembra**

La siembra en uní cultivó se puede realizar en surcos separados a 80 cm y depositar cuatro semillas de maíz cada 80 cm o tres semillas cada 50 cm. Ralea cuando las plantas tengan de 10 a 15 cm (Monar, C. 1999).

En el maíz, la densidad de siembra es determinada por la fertilidad del suelo, la cantidad de humedad disponible en el suelo, el objeto para que se siembra, la variedad que se cultive y el porcentaje de germinación (Reyes, R. 1985).

La cantidad de semilla en la variedad INIAP-111 Guagal Mejorado requerida para la siembra es de 25 a 30 Kg/ha (Monar, C. y Rea, A. 2003).

#### **2.5.5. Fertilización**

Para una adecuada fertilización es necesario realizar un análisis químico del suelo. Los suelos maiceros de la provincia Bolívar, debido a su mal uso y manejo, cultivos intensivos, monocultivos, son pobres en sus contenido de nitrógeno y fósforo. De acuerdo a resultados en trabajos de investigación realizadas por el INIAP en la Provincia Bolívar, se deben poner a la siembra un saco de Sulpomag más dos sacos de 18-46-0 al fondo del surco a chorro continuo y tapar con una capa de suelo para que no quede en contacto con la semilla de maíz. También se puede aplicar materia orgánica bien descompuesta al fondo del surco o al voleo. Antes de realizar la preparación del suelo, aplicar por lo menos 50 sacos de materia orgánica por hectárea. En el aporque se debe utilizar urea en cantidades de dos a tres sacos por hectárea (Monar, C. 1994, 1995 y 1997).

Las extracciones medias del cultivo de los principales macro elementos N-P-K por tonelada métrica son: 25kg de N; 11kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 23 kg de K<sub>2</sub>O, por cada 1000 kg de producción esperada, se pueden dar, como orientativas, las siguientes cantidades de

abono: 30 kg de N; 15 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 25 kg de K<sub>2</sub>O (Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería 2010).

#### **2.5.6. Control de Malezas**

Los herbicidas deben aplicarse inmediatamente después de la siembra, sobre suelo húmedo. En caso de no aplicarse herbicidas, se debe realizar una o dos deshierbas con yunta o a mano, de acuerdo a la incidencia de malezas (Yáñez, C. et. al. 2003).

Si existe una alta presencia de malezas se recomienda aplicar herbicidas selectivos a base de **Atrazina** en dosis de 1,6 a 2,0 Kg/ha de producto comercial, en 400 litros de agua (Caviedes, M. et. al. 2002).

Debido a la intolerancia de la bacteria a los productos químicos cuando se utilice el **Azospirillum spp**, no se deberá utilizar ninguno de estos productos y el control se lo realizara manualmente con la ayuda de una azada cuantas veces el cultivo lo requiera.

#### **2.5.7. Control de Plagas**

Se recomienda hacer aplicaciones de insecticidas únicamente cuando sea necesario. Para el caso de gusano trozador (**Agrotis ipsilon**), si se observa un 10% de plantas cortadoras o con síntomas de marchitez, se recomienda aplicar a la base del tallo insecticidas como: Thiodan (Endosulfán) en dosis de 2 litros/ha; Orthene (Acephate) 0,8 Kg/ha, entre otros (Silva, E. et. al. 1997).

Para controlar a los gusanos de la mazorca (**Heliothis zea** y **Euxesta eluta**), se recomienda la aplicación de aceite comestible de origen vegetal con aceitero o algodón en tres aplicaciones. La primera cuando una tercera parte de las plantas presentan en sus mazorcas hasta 3 cm de presencia de estigmas; la segunda luego de 8

días y la tercera a los 15 días de la primera aplicación. La cantidad de aceite a usar es de 3 a 4 l/ha por aplicación (Caviedes, M. et. al. 2002).

### **2.5.8. Cosecha**

La cosecha para choclo se efectúa cuando el grano está en estado “lechoso”, para semilla al momento de la madurez fisiológica (cuando en la base del grano se observa una capa negra) y para grano comercial se puede esperar entre 20 a 30 días más en el campo (Silva, E. et. al. 1997).

### **2.5.9. Almacenamiento**

Para almacenar las mazorcas, grano comercial o semilla, deberán secarse completamente y colocarlas en lugares frescos, secos y libres de gorgojo (Caviedes, M. et. al. 2002).

## **2.6. EL GÉNERO Azospirillum spp.**

### **2.6.1. Antecedentes**

La Spirillum lipoferum, ahora llamada Azospirillum spp, fue descrita por primera vez en 1925 por Martinus Willem Beijerinck, luego de lo cual la bacteria permaneció en el olvido por varias décadas. Las observaciones de Juan José Peña Cabriales y Johanna Döbereiner, en 1973, inician la época moderna de este microorganismo. Actualmente, se reconocen seis especies en el género Azospirillum spp (Caballero, J. 1988).

Las dos primeras en ser descritas fueron A. lipoferum y A. brasilense, siendo estas las más ampliamente estudiadas. Posteriormente, fueron descritas las especies A. amazonense, A. halopraeferans, A. irakense y A. largimobile (Bernal, G. 2001).

Pocos años después del redescubrimiento del *Azospirillum* spp, y hasta 1993, este género fue el más estudiado entre las bacterias asociadas a plantas. Esto se debió a la capacidad del *Azospirillum* spp, para estimular el crecimiento de las plantas y aumentar el rendimiento de los cereales, lo cual promovió numerosos estudios sobre la ecología, fisiología y genética de esta bacteria (Caballero, J. 1988).

### **2.6.2. Origen e Identificación**

El *Azospirillum* spp, pertenece a la subclase alfa de las proteobacterias. Las características útiles en su identificación rutinaria son la forma vibroide, el pleomorfismo y su movilidad en espiral (Okon y Labandera-Gonzalez, 1994).

Estas bacterias con su característica de ser PGPR, son de particular interés debido a su capacidad de FBN, producción de fitohormonas y su capacidad para adherirse a cualquier sistema de raíces (Bashan y Holguin, 1997).

### **2.6.3. Hábitat del género *Azospirillum* spp.**

Las especies de *Azospirillum* spp, son habitantes regulares del ambiente externo de las raíces (rizósfera) y de las hojas (phyllosphere) existiendo como flora epífita no patógena. Algunas especies existen en grandes cantidades en la rizósfera de las plantas superiores, en crecimiento asociativo con estas, beneficiándolas con el nitrógeno fijado (Mortimer, P. et. al. 1981).

### **2.6.4. Distribución**

Este grupo de microorganismo incluye bacterias de vida libre, presentes en suelos de todo el mundo, capaces de fijar nitrógeno molecular del medio ambiente. Especies de este grupo presentan una característica cosmopolita, debido a que se distribuyen en

regiones templadas y tropicales. Sin embargo, su ocurrencia es más abundante en regiones tropicales (Bashan y Holguin, 1997). El pH del suelo juega un papel importante en la presencia de las especies del género *Azospirillum* spp. Las especies de *A. brasilense* y *A. lipoferum* se encuentran en mayor abundancia en suelos con valores de pH cercanos a la neutralidad. También se hallan esporádicamente en suelos con un pH abajo de 5, pero cuando el pH es menor a 4.5 no se logra su aislamiento (Fallick, et. al. 1988).

#### **2.6.5. Características**

Se considera que uno de los principales mecanismos de acción del *Azospirillum* spp., radica en su capacidad de producir sustancias promotoras durante la colonización de las raíces. Esto estimula la longitud, la densidad de las raíces laterales y el incremento del área superficial de las raíces. Estos y otros cambios fisiológicos favorecen la mayor absorción de agua y nutrientes minerales que ayudan al rápido crecimiento de las plantas (Bashan y Holguin, 1997).

Para lograr estos efectos positivos, el microorganismo debe infectar las raíces. Esto se consigue cuando se garantiza un elevado número de bacterias por gramo del formulado a aplicar y una alta viabilidad del microorganismo en el suelo que le permita sobrevivir aún en condiciones adversas y colonizar las raíces (Martínez, R. et. al. 1999).

#### **2.6.6. Ambiente rizosférico**

Aparentemente, una bacteria del suelo deberá sobrevivir a las múltiples interacciones que se presentan con la compleja comunidad microbiana que habita el mismo microambiente, antes de que ocurra cualquier interacción con las raíces de la planta. En el inicio de una interacción con las raíces de la planta hospedera, el microorganismo específico deberá llegar a la superficie de las raíces, adherirse y

multiplicarse para colonizarla. Si la bacteria tiene la capacidad de invadir los tejidos internos, se diseminará en el interior de la raíz e incluso en otros órganos de la planta (Caballero, J. 2001).

La adaptación de *Azospirillum* spp, al futuro ambiente rizosférico probablemente se inicia con la germinación de la semilla, la cual exuda infinidad de compuestos orgánicos que forman parte fundamental de la espermosfera. Posteriormente, la exudación de compuestos será a través de las raíces durante el desarrollo de la planta. Aún cuando las especies de *Azospirillum* spp, difieren en su capacidad para utilizar diferentes compuestos como fuentes de carbono y nitrógeno, estas bacterias usan para su crecimiento unos pocos mono y disacáridos así como alcoholes polihidroxilados, y principalmente diversos ácidos orgánicos tales como málico y succínico y algunos aminoácidos (Bashan y Holguin, 1997).

#### **2.6.7. Aislamiento**

El aislamiento de la bacteria *Azospirillum* spp, resulta en lo general muy simple, ya sea a partir de suelo rizosférico o de la superficie de las raíces (rizoplano) de numerosas plantas hospederas. También se le aísla del interior de las raíces o tallos de algunas plantas. El medio de cultivo usado para el aislamiento de las especies de *Azospirillum* spp, es el NFB (nitrogen fixation biological) semigelificado, libre de nitrógeno y con malato como fuente de carbono. En este medio de cultivo son aisladas predominantemente cepas de las especies *A. lipoferum* y *A. brasilense*. El medio NFB con algunas modificaciones en su composición y pH permiten el aislamiento predominante de otras especies de *Azospirillum* spp (Caballero, J. 1998).

### **2.6.8. Asociación bacteria-planta**

Los sitios de colonización elegidos por estas bacterias corresponden a las áreas de elongación celular de la zona radical y las bases de los pelos radicales (Kapulnik et. al. 1985). Los responsables de una efectiva asociación entre planta-bacteria son las proteínas y polisacáridos de la membrana exterior de *Azospirillum* spp. Estos, permiten una fuerte adhesión a las raíces de las plantas inoculadas (Burdman, et. al. 2001).

### **2.6.9. Colonización de las raíces**

*Azospirillum* spp., posee un flagelo polar que lo utiliza para desplazarse en medios líquidos, mediante el cual migra hacia las raíces y se adhiere a la superficie radicular. Bajo condiciones de medios sólidos se induce la expresión de múltiples flagelos laterales (Fallick, et. al. 1988).

Estas estructuras laterales están envueltas en la colonización de las raíces, permitiendo a la bacteria adherirse a ellas. En contraste, bacterias mutantes, desprovistas de flagelos laterales y polares, pierden la capacidad de colonización (Bashan y Holguin, 1997).

El éxito colonizador de *Azospirillum* spp., depende de un proceso indispensable llamado "quimiotaxis". Este evento corresponde a una fuerte atracción entre estas bacterias con las raíces de las plantas a través de sus propios exudados radiculares. Entre estos compuestos se encuentran: malato, succinato y fructos (Girard, et. al. 1964).

#### **2.6.10. Efectos de Azospirillum spp, sobre las plantas**

Estas bacterias, gracias a su metabolismo, ejercen positivos efectos en el crecimiento de las plantas y en el rendimiento de muchos cultivos. Estudios confirman que los efectos positivos que provocan estas bacterias sobre vegetales se deben a la síntesis de fitohormonas y a la fijación biológica de di-nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>) (Vande Broek, A. et. al. 2000).

Estos efectos sobre vegetales son derivados de muchos cambios morfológicos en las raíces que ocurren en plantas inoculadas. Asimismo, hay aumento en la superficie y longitud radical que provocan un aumento en la absorción de agua y nutrientes (Caballero, J. 1998).

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

La capacidad de Azospirillum spp, para estimular el crecimiento de las plantas ha sido demostrada en decenas de experimentos, tanto de campo como de invernadero. Varios son los mecanismos que se han sugerido como responsables del efecto estimulador observado en las plantas inoculadas (Martínez, R. et. al. 1999).

En numerosos estudios de inoculación con Azospirillum spp, además del mejor crecimiento de las plantas, fueron observados incrementos en el contenido de nitrógeno total de las plantas inoculadas respecto a los testigos y en la incorporación de N. No obstante, en la mayoría de estos estudios no fueron observadas diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno o en el contenido de proteína entre plantas inoculadas y no inoculadas, razón que contribuyó a desechar la idea de que la fijación biológica de nitrógeno fuera el mecanismo responsable de los efectos benéficos observados. Debido a que los efectos de la inoculación con Azospirillum spp, sobre el crecimiento de la raíz y la parte aérea de las plantas son similares a los que se presentan cuando las plantas son tratadas con fitohormonas fue sugerido que estas

sustancias podrían ser responsables del mejor crecimiento de las plantas, así como de los incrementos observados en el contenido de minerales y en el rendimiento de los cultivos (Bashan, Y. y Levanony, H. 1990).

Recientemente ha sido revisada la función de las fitohormonas en las asociaciones planta-microorganismo. *Azospirillum spp*, tiene la capacidad de producir auxinas, citocininas y giberelinas en medios de cultivo. No obstante, el mecanismo analizado con mayor amplitud ha sido la producción de auxinas, especialmente la del ácido indolacético (AIA). El AIA producido por las bacterias puede modificar el contenido de fitohormonas de las plantas conduciendo a la estimulación del crecimiento de las mismas (Thuler, D. et. al. 2003).

La producción de auxinas por *Azospirillum spp*, se cree que juega un mejor rol al promover el crecimiento vegetal, aunque pequeñas evidencias en plantas, han sido publicadas en los últimos años, que *Azospirillum spp*, produce altas cantidades de AIA extracelular, sin embargo, altas concentraciones de suspensión bacteriana, inhibe la elongación de las raíces (El Khawas, M. y Adachi, K. 1999).

En cultivos de *Azospirillum spp*, además de AIA se han encontrado otros compuestos indólicos y metabolitos relacionados tales como el ácido indol pirúvico, indol lático, indol acetamida, indol acetaldehído, indol etanol e indol metanol, triptamina, antranilato y otros compuestos indólicos no identificados (Caballero, J. 2001).

Actualmente se conoce que *Azospirillum spp*, puede sintetizar AIA a través de tres vías. En tanto que las vías del ácido indol pirúvico y la del indol acetamida son dependientes del triptofano, la tercera es una vía independiente de este aminoácido, desconociéndose el precursor del AIA. Resultados recientes permiten sugerir que la indol piruvato descarboxilasa es una enzima común tanto a la vía del indol pirúvico como a la vía no dependiente de triptófano (Caballero, J. 2001).

El efecto benéfico de *Azospirillum* spp, consiste en la producción de giberalinas. La aplicación de giberalinas tiene efectos similares a los que presenta *Azospirillum* spp, en el incremento de los pelos radicales, altura de planta y reducción de procesos fisiológicos (Piccoli, P. et. al. 1997).

El efecto del potencial de agua (concentración de O<sub>2</sub>) sobre el crecimiento y producción de giberalinas A3, indicó que utilizan agua en un 50% para producir células con capacidad de producir altas cantidades de agua, formar resistencia a la sequia y ayudar a la formación del fruto con buen tamaño. Esto indica, un incremento en la cantidad de giberalinas A3 producidas dentro de la planta por *Azospirillum* spp, que actúan en la inducción de crecimiento de las plantas y la resistencia a la sequia en el cultivo de maíz (Piccoli, P. et. al. 1997).

Durante las fases de crecimiento vegetal, la producción de etileno es mínima. El etileno juega un papel importante en la germinación de las semillas, la bacteria *Azospirillum* spp, produce cantidades de etileno suficientes para romper la latencia de la semilla (Krafczyk, I. et. al. 1984).

#### **2.6.12. Metabolismo del Nitrógeno**

La fijación de nitrógeno es el principal mecanismo por el cual *Azospirillum* spp, afecta el crecimiento de las plantas. En los últimos años, pocos estudios han focalizado el ciclo del nitrógeno dentro de las células, y los genes involucrados.

Aparentemente, la habilidad de las cepas de *Azospirillum* spp, suelen mantenerse en forma natural, mejorando su capacidad para expresar una actividad excepcional de la nitrogenasa. La eficiencia de la fijación de nitrógeno y la desnitrificación puede ser regulada a través de la concentración de oxígeno, nitratos y molibdeno. El máximo rango de crecimiento se observó bajo condiciones micro aeróbicas al 5% de O<sub>2</sub>, 2 g/l de nitrato y la máxima concentración de molibdato posible (0.5 g/l). Estas

condiciones fueron llevadas para una máxima eficiencia en el proceso de desnitrificación (Saubidet, M. et. al. 2002).

Sin embargo, bajo condiciones de fijación de nitrógeno, la tasa de respiración no parecía ser un limitante para el crecimiento vegetal. Además posee la capacidad de adaptarse a bajas temperaturas y a concentraciones bajas de oxígeno, dependiendo de la capacidad de la bacteria para usar eficientemente los nitritos y nitratos (Tsagou, V. et. al. 2003).

La fijación de nitrógeno por *Azospirillum* spp, fue el primer mecanismo sugerido para promover el crecimiento de las plantas. La mayoría de las evidencias registradas durante las tres décadas anteriores sobre este mecanismo de acción ha generado controversia. Algunos experimentos en invernadero y campo han de mostrado repetidamente que es mínima la transferencia de nitrógeno fijado por *Azospirillum* spp, sin embargo, no se descarta su capacidad de fijar nitrógeno (Kennedy, R. y Chellapilai, D. 1998).

Todas las cepas colonizan la superficie y la parte interna de la raíz, estimulando el crecimiento vegetal, incrementando en un 80% del nitrógeno fijado en el suelo y la planta (Saubidet, M. et. al. 2002).

Cerca de 15 a 20 genes están involucrados en la síntesis de la nitrogenasa y en la actividad fijadora de nitrógeno, en especial el gen NifA gran negativo. En *Azospirillum* spp, NifA, ayuda al proceso de fijación en cualquier forma que este se encuentre, ya sea de amonio, nitritos y nitratos (Steenhoudt, O. et. al. 2001).

### **2.6.13. Solubilización de fosfatos, minerales y degradadores de sideróforos**

En estudios in vitro, indican que las plantas inoculadas con *Azospirillum* spp, toman de mejor forma los minerales y la glucosa producida por las raíces (exudados). Estas

observaciones pueden ser claramente explicadas, mediante la acidificación de nutrientes de medios de aislamiento de *Azospirillum* spp, pues la bacteria puede producir diferentes ácidos orgánicos que ayudan en la Solubilización del fósforo. Debido a que puede solubilizar fósforo por si mismo sin la adición de exudados de la planta (Amooaghaie, R. et. al. 2002).

Tres cepas de *Azospirillum* spp, aisladas de esporocarpos de micorrizas, en pruebas in vitro, solubilizaron fosfatos de calcio, adicionalmente estas bacterias produjeron modificaciones estructurales en las moléculas de los otros fosfatos de magnesio, fosfato de amonio y algunos sideróforos (Kamnev, A. et. al. 1999).

#### **2.6.14. Factores que inciden en la eficiencia de *Azospirillum* spp.**

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

- **Temperatura**, su mayor crecimiento ocurre entre 32 y 36 °C y disminuye de forma pronunciada por debajo de 30 °C (Martínez, R. 2008).
- **pH**, con un punto óptimo entre 6,8 y 7,0; por debajo de pH 5 no es posible lograr su aislamiento (Martínez, R. 2008).
- **Suministro de Carbono**, los microorganismos deben de tener acceso a abundantes fuentes de Carbono para su crecimiento y la 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 organismos deben utilizar considerables cantidades de sustratos (Martínez, R. et. al. 2008).
- **Humedad**, la falta o exceso de humedad limita la vida microbiana en el suelo y, como es natural, también en la zona rizosférica. El exceso influye sobre todo en la capacidad de aireación y es más perjudicial que la falta de humedad, ya que algunos de los organismos rizosféricos son capaces de

formar quistes *Azospirillum* spp, que les permiten sobrevivir durante largos períodos a la desecación (Moreno, J. et. al. 1986).

- **Aireación**, ejerce un efecto muy marcado, sobre el desarrollo de la mayoría de los diazotrofos, en comparación con otros microorganismos no fijadores. A pesar de esto, *Azospirillum* spp, funciona mejor a concentraciones reducidas de Oxígeno, debido a la sensibilidad del complejo nitrogenasa al Oxígeno molecular, el cual inactiva de forma irreversible a la enzima (Zuberer, D. 1990).
- **Alto contenido de arcilla, materia orgánica y buena capacidad de retención de agua** afectan positivamente la presencia de *Azospirillum* spp, en el suelo, mientras que alto contenido de partículas arenosas y elevada concentración de Carbonato de Calcio afectan negativamente su supervivencia (Martínez, R. et. al. 1999).
- **La cantidad y tipo de secreciones de las raíces de cada especie vegetal**, presentan exudados de diversas sustancias (azúcares, fenoles, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgánicos y grasos, nucleótidos, esteroides, etc.), algunas de las cuales pueden ayudar al establecimiento de las bacterias en la zona rizosférica, mientras que otras pueden actuar como repelentes. Así, por ejemplo, en el caso del maíz los exudados que predominan son azúcares (65 %), ácidos orgánicos (33 %) y aminoácidos (2 %), aunque la diversidad es amplia y se han encontrado en este cultivo más de 10 tipos de ácidos orgánicos y 4 tipos de azúcares (Krafczyk, I. et. al. 1984).

## **2.7. BIOFERTILIZANTES**

### **2.7.1. Antecedentes**

Los primeros estudios que se realizaron acerca de lo que hoy se llama biofertilización estuvieron relacionados con la fijación biológica de Nitrógeno atmosférico y se remontan a la primera mitad del siglo XIX (Martínez, R. et. al. 1999).

Los biofertilizantes son recomendados en la Agenda 21 como resultado de la llamada Cumbre de la Tierra, firmada en Rio de Janeiro en 1992. Son considerados biotecnologías “apropiables”, que es un término creado para las herramientas biotecnológicas que contribuyen al desarrollo sostenible de un país y que proveen de beneficios tangibles a los destinatarios y, además, por ser ambientalmente seguras y socioeconómica y culturalmente aceptables (Crea, T. 2003).

Hoy se utilizan diferentes microorganismos con funciones específicas en la agricultura para mejorar la productividad en las plantas. Todos son una fuente facilitadora del manejo de los nutrimentos que benefician el funcionamiento de los cultivos, y forman parte de una tecnología que garantiza una productividad biológica, económica y ecológica más exitosa y sin contaminación del ambiente y de la inocuidad reconocida para el hombre (Martínez, R. et. al. 1999).

### **2.7.2. Concepto**

Los biofertilizantes microbianos pueden definirse como productos a base de microorganismos que viven normalmente en el suelo, aunque en poblaciones bajas, y que, al incrementar sus poblaciones por medio de la inoculación artificial, son capaces de poner a disposición de las plantas, mediante su actividad biológica, una parte importante de los nutrientes que necesitan para su desarrollo, así como de suministrar sustancias hormonales o promotoras del crecimiento. En un sentido amplio, estos términos pueden usarse también para incluir todos los recursos orgánicos necesarios para el desarrollo de las plantas, los cuales son transformados mediante la acción de los microorganismos (Martínez, R. et. al. 1999).

### **2.7.3. Importancia de los biofertilizantes**

Los microorganismos benéficos para la agricultura son muchos y desarrollan sus funciones bajo la influencia de las raíces de las plantas. Dependiendo del tipo de relación con la planta, los microorganismos pueden ser benéficos o nocivos. En el caso de los microorganismos benéficos utilizados como biofertilizante, la relación es mutualista y es conocida como simbiosis. Si se forman estructuras especializadas dentro de las células de las plantas (nódulos, vesículas, etc.) se denomina simbiosis obligada o estricta, y cuando el microorganismo sobrevive sin la planta y se asocia en beneficio de ambos, la simbiosis se conoce como asociativa o facultativa (Martínez, R. et. al. 1999).

La importancia de los biofertilizantes radica en 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 pueden aplicarse en pequeñas unidades para solucionar problemas locales específicos (Frontera, G. 2006).

### **2.7.4. Mecanismos de acción de los Biofertilizantes**

En general, los microorganismos promotores del crecimiento vegetal a base de bacterias, son llamadas rizobacterias (PGRP por sus siglas en inglés Plant Grown Promoting Rhizobacteria) y generalmente provienen de un cultivo puro del microorganismo aislado de la raíz de alguna planta de interés y se multiplica en un medio de cultivo específico para luego ser transferido al sustrato, y de esta forma son utilizados en la agricultura (Bashan, Y. y Holguin, G. et. al. 1997). Los principales mecanismos de acción de los biofertilizantes (rizobacterias) son la fijación de nitrógeno atmosférico, la solubilización de minerales, la producción de sustancias reguladoras del crecimiento, el incremento del volumen de la raíz, la inducción de la resistencia sistémica a patógenos, la inhibición del crecimiento de organismos

patógenos y la interacción sinérgica con otros microorganismos del suelo (Dobereiner, J. et. al. 1995).

### 2.7.5. Formas de aplicación y cantidades

Los biofertilizantes microbianos pueden aplicarse a la semilla, el suelo o al material vegetativo. En cultivos anuales los beneficios de la simbiosis se expresan en plazos muy breves, 20-30 días después de la biofertilización, pero en cultivos perennes en vivero hasta después de tres meses como en cacao y cafeto. La forma más precisa de aplicarlos es mediante su adhesión a las semillas (Crea, T. 2003).

Para aplicar el biofertilizante a la semilla se sugiere extenderla en un plástico asperjarlo y mezclar muy bien; es importante verificar que toda la semilla quede “pegajosa”. Si no queda “pegajosa” se puede mejorar la adhesividad agregando agua con azúcar (Frontera, G. 2006).

### Biofertilizantes fijadores de N<sub>2</sub>, limitaciones y uso por los agricultores.

Biofertilizante	Cultivo	Limitaciones técnicas	Limitaciones socio-económ.	Uso por los agricultores
<u><i>Rhizobium</i></u> y <u><i>Bradyrhizobiu</i></u> <u><i>m</i></u>	Leguminosas de granos. Leguminosas de aceite. Leguminosas forrajeras.	Baja calidad del inóculo. Bajo Fósforo en suelo.	Pobre infraestructura. Poco conocimiento por los agricultores.	Amplio uso Amplio uso Uso intermedio
<u><i>Azolla</i></u>	Arroz	Mantenimiento del inóculo. Bajo Fósforo. Calor Plagas y enfermedades.	Pobre infraestructura.	Uso intermedio
<u><i>Cianobacterias</i></u>	Arroz	Bajo Fósforo.	Falta de	Uso

		Malezas.	tecnología	intermedio
<u><i>Azospirillum</i></u>	Gramíneas	Pobre inóculo	Poco conocimiento por los agricultores	Uso intermedio
<u><i>Azotobacter</i></u>	Todos los cultivos	Pobre inóculo	Poco conocimiento por los agricultores	A más o menos
<u><i>Glucon</i></u> <u><i>Acetobacter</i></u>	Caña de azúcar y otros cultivos	Conocimiento muy reciente	Poco conocimiento por los agricultores	A más o menos

Fuente: Martínez, R. et. al. 1999.

## 2.8. FERTILIZACIÓN

### 2.8.1. Fertilización inorgánica

El uso de fertilizantes resulta imprescindible para el mantenimiento de altos rendimientos en las cosechas. Mediante la fertilización inorgánica, son añadidas al suelo cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y potasio, así como otros elementos minerales, las disponibilidades de éstos son muy bajas, ya que es bien conocido que una fracción queda inmovilizada en el suelo formando compuestos insolubles no asimilables por las plantas y otra es lavada mediante un proceso de lixiviación, lo cual además de pérdidas económicas, genera un importante problema de contaminación ambiental (Villaverde, M. et. al. 2006).

La fertilización de fondo, se efectúa antes de la siembra, con objeto de cubrir las necesidades del cultivo. Los fertilizantes que generalmente se utilizan son los de solubilidad lenta, para evitar el lavado de nutrientes. Los componentes inorgánicos en el cultivo de maíz actúan de la siguiente manera (Suquilanda, M. 2006).

### 2.8.2. El Nitrógeno

El N es esencial para el crecimiento de la planta forma parte de cada célula viviente, éste promueve el rápido crecimiento e incrementa el tamaño de las hojas y el número de espiguillas por panoja, el nitrógeno afecta todos los parámetros que contribuyen al rendimiento.

Las plantas absorben la mayoría de N en forma de iones amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), algo de urea se absorbe directamente por las hojas y pequeñas cantidades de N se obtienen de aminoácidos solubles en agua.

El N es necesario para la síntesis de clorofila y como parte de dicha molécula está involucrado directamente en el proceso de la fotosíntesis, además el N es un componente de las vitaminas y los sistemas de energía en la planta cuando se aplica suficiente N al cultivo se incrementa por otros macronutrientes como P y K..

La descomposición de la materia orgánica provee de más del 90% del N nativo del suelo, sin embargo la mayoría de los suelos contienen poca materia orgánica, generalmente 2% o menos, con este porcentaje la cantidad aproximada de N liberado es de 10 a 40kgN/ha/año, cantidad insuficiente para cubrir las necesidades de los cultivos (Lafitte, H. 1994).

Además las cantidades liberadas son afectadas por las prácticas de manejo; así la labranza de conservación (siembra directa) reduce en suelos cada vez más fríos, donde los procesos de descomposición de la materia orgánica son más lentos y liberan menor cantidad de N, actualmente debido a la intensificación de los cultivos se emplean fuentes artificiales para la obtención de N partiendo de procesos químicos, dentro de las más importantes tenemos : la urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  , que contiene 46% de N el sulfato de amonio  $\text{SO}_4(\text{NH}_4^+)_2$  contiene 21% de N y 24% de S, nitrato de

amonio  $\text{NO}_3\text{NH}_4^+$  que contiene 33.5 a 34% de N, la mitad en forma de nitrato y la otra mitad en forma de N amoniacal (Witt, C. 2002).

### **2.8.3. Importancia del nitrógeno para las plantas**

El Nitrógeno (N), es uno de los mayores factores, junto con el agua, que gobiernan la productividad del cultivo de maíz, debido a que actúa en forma específica en procesos metabólicos en las plantas, y en forma estructural. En las plantas existen formas nitrogenadas además de los aminoácidos y proteínas en las que se incluyen: vitaminas, hormonas, pigmentos, purinas y pirimidinas. Es además componente esencial de la clorofila (Kass, D. 1998).

Su deficiencia provoca el típico síntoma de secado “en V” de las hojas inferiores de la planta, las plantas se observan raquíticas, delgadas y mal desarrolladas. El crecimiento es lento y hay clorosis generalizada. Si la deficiencia es severa, las hojas adquieren un color pardo oscuro y mueren. Además forma parte de la materia viva y es un constituyente de los más importantes compuestos y complejos órgano-minerales de la planta como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, amidas y aminos (Domínguez, A. 1989).

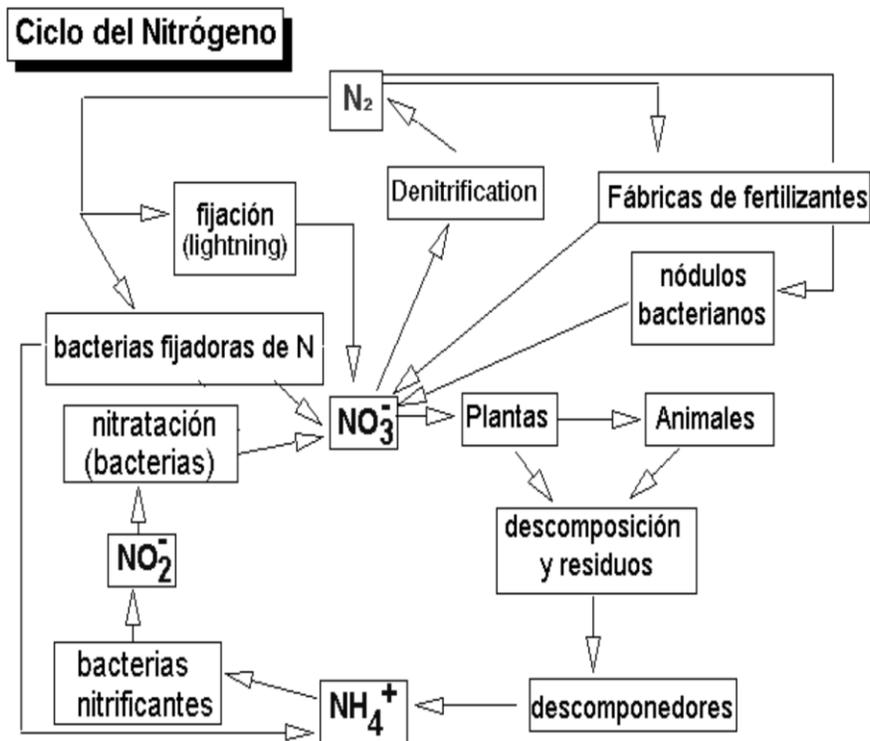
### **2.8.4. Incorporación del nitrógeno en las plantas**

La asimilación del nitrógeno requiere una serie compleja de reacciones bioquímicas con un alto costo energético. En la asimilación del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), el nitrógeno de este compuesto es convertido en una forma de energía superior, nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), luego en una mayor forma de energía, amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y finalmente nitrógeno amídico en la glutamina. Este proceso consume 12 equivalentes de ATP por molécula de nitrógeno (Pereyra, M. 2001).

Las plantas asimilan la mayor parte del nitrato absorbido por sus raíces en compuestos orgánicos nitrogenados. La primera etapa de este proceso es la reducción de nitrato a nitrito en el citoplasma. Dado que el nitrito formado es altamente reactivo, siendo un ión potencialmente tóxico, las células vegetales lo transportan inmediatamente después de ser generado a los cloroplastos en las hojas y a los plastidos en las raíces.

#### **2.8.4. Ciclo del Nitrógeno**

Este es posiblemente uno de los ciclos más complicados, ya que el N se encuentra en varias formas y porque los organismos son los responsables de las interconversiones. Su reserva fundamental es la atmósfera, en donde se encuentra en forma de  $N_2$ , pero esta molécula no puede ser utilizada directamente por la mayoría de los seres vivos (exceptuando algunas bacterias). Esas bacterias y algas cianofíceas que pueden usar el  $N_2$  del aire juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento al hacer la fijación del nitrógeno. De esta forma convierten el  $N_2$  en otras formas químicas (nitratos y amonio) asimilables por las plantas. (González, A. y Raciman, J. 2000).



Fuente: González, A. y Raciman, J. 2000

El principal reservorio de nitrógeno es la atmósfera, con 78%. Este nitrógeno gaseoso está compuesto de dos átomos de nitrógeno unidos, el  $N_2$  es un gas inerte, y se necesita una gran cantidad de energía para romper esta unión y combinarlo con otros elementos como el carbono y el oxígeno. Esta ruptura puede hacerse por dos mecanismos: las descargas eléctricas y la fijación fotoquímica, que proveen suficiente energía para romper la unión del nitrógeno y unirse a tres átomos de Oxígeno para formar nitratos ( $NO_3^-$ ). Este procedimiento es reproducido en las plantas productoras de fertilizantes (González, A. y Raciman, J. 2000).

La segunda forma de fijación del nitrógeno es llevada a cabo por bacterias quienes usan enzimas especiales en lugar de la luz solar o las descargas eléctricas. Entre estas bacterias se encuentran las que pueden vivir libres en el suelo, aquellas en simbiosis con raíces de ciertas plantas (Fabáceas) y las cianobacterias fotosintéticas (las antiguas "algas verde-azuladas") que viven libres en el agua. Las tres fijan N, tanto

como nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) o como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Las plantas toman los nitratos y los convierten en aminoácidos, los cuales pasan a los animales que los consumen. Cuando las plantas y animales mueren (o liberan sus desechos) el nitrógeno retorna al suelo. La forma más común en que el nitrógeno regresa al suelo es como amonio. El amonio es tóxico, pero afortunadamente, existen bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*) que oxidan el amonio a nitritos, con dos oxígenos. Otro tipo de bacteria (*Nitrobacter*) continúa la oxidación del nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) el cual es absorbido por las plantas que completan el ciclo (González, A. y Raciman, J. 2000).

Existe un tercer grupo de bacterias desnitrificantes (entre ellas *Pseudomonas desnitrificas*) que convierten nitritos y nitratos en nitrógeno gaseoso (González, A. y Raciman, J. 2000).

#### **2.8.6. Fijación de Nitrógeno**

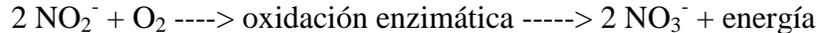
Es necesario apuntar que la fijación de nitrógeno es un proceso que consume mucha energía, y que los fijadores simbióticos de nitrógeno obtienen esta energía del cultivo al que están asociados, lo que en un principio provoca algunas pérdidas en la producción vegetal. Además parece que los organismos no simbióticos pueden funcionar eficazmente a temperaturas altas del suelo, pero (salvo el *Azotobacter spp.*) no son eficaces en condiciones templadas (FAO, 1996)

Muchos suelos, en especial los suelos ácidos, no poseen poblaciones activas de estas bacterias y se ha determinado ampliamente que la inoculación bacteriana puede aumentar los rendimientos (FAO, 1996). Podemos encontrar asociaciones importantes entre bacterias del género *Azospirillum spp.* y varias gramíneas. Estas bacterias tienen un amplio rango de hospederos, entre los que se encuentran el maíz y el sorgo, por lo que se ha sugerido su utilización en agricultura. Se ha observado

igualmente que las gramíneas de metabolismo C4 tropicales inducen una mayor fijación (Pérez, S. y Torralba, A. 1997)

### 2.8.7. Nitrificación

En este proceso, el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) se transforma primero en nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), y éste en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) mediante la acción de las bacterias aerobias del suelo. El proceso se lleva a cabo en dos etapas coordinadas, controlada cada una por diferentes grupos de bacterias. Globalmente se las llama nitrobacterias. Al grupo responsable de la conversión de compuestos amoniacaes en nitritos se les llama Nitrosomonas. El grupo encargado de la oxidación de los nitritos a nitratos recibe el nombre de Nitrobacter. El esquema de las transformaciones es el que sigue:



Debido a que normalmente el nitrito se transforma en nitrato con mayor rapidez que se produce, los niveles de nitrito en los suelos suelen ser muy bajos en comparación con los de nitrato (Ramírez, M. 2004).

Bajo condiciones adecuadas, la nitrificación puede transformar del orden de 10-70 kilogramos de nitrógeno por hectárea por día. Esto implica que un abonado en forma amónica puede transformarse casi totalmente en nitrato en unos pocos días si la humedad y temperatura del suelo son favorables. En ocasiones, debido a que la nitrificación es más rápida que la mineralización, se emplea el término mineralización para indicar el proceso global de conversión del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral fundamentalmente nitrato y amonio (Martin, A. et. al. 1980).

### **2.8.8. Inmovilización**

La mineralización es la transformación del nitrógeno orgánico en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) mediante la acción de los microorganismos del suelo. La inmovilización es el proceso contrario. Como ambos actúan en sentido opuesto, su balance se denomina mineralización neta. La mineralización neta de la materia orgánica del suelo depende de muchos factores, tales como el contenido en materia orgánica, la humedad y la temperatura del suelo. En climas templados la mineralización neta anual es, aproximadamente, el 1-2% del nitrógeno total, y esto supone una producción de nitrógeno mineral de unos 40 a 150 kg/ha, en los primeros 30 cm del suelo (Ramírez, M. 2004).

### **2.8.9. Desnitrificación**

La desnitrificación es la conversión del nitrato en nitrógeno gaseoso ( $\text{N}_2$ ) o en óxidos de nitrógeno, también gaseosos, que pasan a la atmósfera. Este fenómeno se debe a que, en condiciones de mucha humedad en el suelo, la falta de oxígeno obliga a ciertos microorganismos a emplear nitrato en vez de oxígeno en su respiración (Martínez, R. et. al. 2008).

El Fosforo (P), al contrario del nitrógeno tiene muy poca solubilidad, lo que obliga a aplicarlo junto con la siembra. Su baja movilidad nos obliga a realizar una fertilización localizada, para ubicarlo en un lugar donde pueda ser alcanzado por las raíces. El fósforo forma parte de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos, de las coenzimas NAD (Nicotin Adenin Dinucleotido) y NADP (Nicotin Adenin Dinucleotido Sulfato) y lo que es especialmente importante, como una parte integrante del ATP (Adenosin Trifosfato). Además ayuda al buen crecimiento de las plantas, favorece la formación de raíces fuertes y abundantes y es indispensable para la formación de las semillas (Domínguez, A. 1989).

Las deficiencias del fósforo son similares a las del nitrógeno presentando síntomas como: crecimiento lento de las plantas, las hojas se oscurecen y toman un color verde azulado y se produce una producción muy baja porque se disminuye la floración (Manual agropecuario 2004).

El Potasio (K), presenta su carencia de una forma clorótica (amarillamiento) de los bordes de las hojas inferiores, debilitamiento de los tejidos de las raíces y tallos, y posteriormente el deterioro de la caña en la madurez. A diferencia de otros elementos esenciales el potasio no entra en la composición de los constituyentes importantes que se relacionan con el metabolismo como las proteínas, los carbohidratos y la clorofila. Por lo que se hace raro observar carencias de este elemento en los suelos de las regiones maiceras (Yogodin, B. 1986).

La fertilización inorgánica ha sido utilizada para el desarrollo de diferentes estudios; sin embargo también existen investigaciones realizadas con organismos vivos (*Azospirillum spp*), en combinación con fertilización inorgánica, determinando que la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, puede disminuirse alrededor del 50% cuando se inoculaba *Azospirillum brasilense* y *Azospirillum lipoferum* (Medina, N. y Pino, M. 1992).

#### **2.8.10. Ventajas y Desventajas del N en las plantas.**

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes para las plantas, pero a la vez uno de los más limitantes en los suelos de Latinoamérica. Por, lo tanto presenta las siguientes ventajas y desventajas:

##### Ventajas

- Es fundamental para formar los órganos vegetativos y de reproducción de las plantas.

- Fomenta el crecimiento rápido en las plantas.
- Aumenta el contenido de proteínas en los granos.

### Desventajas

Cuando el suelo tiene un contenido bajo de N la planta puede presentar los siguientes síntomas:

- Pérdida uniforme del color verde del follaje.
- Las hojas nuevas alcanzan tamaño pequeño y color amarillento.
- Crecimiento lento y raquítico.
- Cuando la deficiencia es grave, disminuye considerablemente la floración, y por tanto, la cosecha.
- En los cereales principalmente presenta un deficiente desarrollo aéreo de la planta; los tallos pueden presentar una coloración rojiza o púrpura.

Cuando existe un exceso de N; presentan los síntomas:

- Las plantas crecen demasiado rápido.
- Los tallos toman una consistencia blanda que los hace frágiles y se caen con facilidad.
- Todas las estructuras están más propensas a enfermedades.

Hay desproporción entre el crecimiento de las raíces, que es más lento, y el crecimiento del tallo, más rápido. Por ello, puede presentarse volcamiento de la planta (Enciclopedia Práctica de Agricultura y Ganadería 2010).

### **2.8.11. Fuentes de N**

El nitrógeno no se encuentra en la fracción mineral del suelo. De tal manera; que el nitrógeno existente en el suelo proviene de diferentes fuentes como:

#### **Fuentes químicas**

Fertilizantes. La producción agrícola depende en gran medida de que los suelos sean capaces de desarrollar cultivos con un buen rendimiento y esa capacidad es establecida por su fertilidad. El contenido de nutrientes de origen natural en los suelos, generalmente no es suficiente para lograr una adecuada fertilidad, por esa razón se emplean los fertilizantes naturales orgánicos y químicos. Los fertilizantes nitrogenados pueden ser de cuatro tipos:

Nítricos: aportan el nitrógeno entre el 11 y el 16% en forma de nitratos. Ejemplos:  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{KNO}_3$ .

Amónicos: aportan el nitrógeno en alrededor del 21% en forma de amonio. Ejemplo:  $(\text{NH}_4^+) 2\text{SO}_4$

Amónicos y nítricos: aportan el nitrógeno entre el 20 y 34% en formas de nitratos y amonio. Ejemplos:  $(\text{NH}_4^+) \text{NO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NH}_4^+)_2$  y  $(\text{NH}_4^+) 2\text{SO}_4$ .

De Amidas: aportan en nitrógeno entre el 21 y el 45% en forma de amidas. Ejemplo: urea cianamida de calcio. La acción de éstos es más lenta pues el nitrógeno amídico deberá transformarse en nitrógeno amónico y de nitratos. El nitrato de amonio es uno de los fertilizantes nitrogenados más empleados en la agricultura, se obtiene industrialmente a partir del amonio y del ácido nítrico y su composición en nitrógeno es del 33 al 34.5% (Fuentes Principales de Nitrógeno. 2003).

## **Fuentes naturales**

Los nitratos también existen en forma natural en algunos alimentos, particularmente en algunos vegetales. Los nitritos se forman por la oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en el medio acuático o terrestre, o por la reducción bacteriana del nitrato. Son productos intermedios del ciclo completo de oxidación-reducción y sólo se encuentran presentes en condiciones de baja oxidación (Fuentes Principales de Nitrógeno. 2003).

Los nitratos derivan de la descomposición natural, por microorganismos, de materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas de animales. El ion amonio formado se oxida a nitritos y nitratos según un proceso de oxidación biológica (nitrificación). Aunque la presencia natural de nitratos y nitritos en el medio ambiente es una consecuencia del ciclo del nitrógeno, por lo común los nitritos se encuentran en muy bajas concentraciones (Fuentes Principales de Nitrógeno. 2003).

## **Fuentes orgánicas**

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos.

No podemos olvidarnos la importancia que tiene mejorar diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo, y en este sentido, este tipo de abonos juega un papel fundamental. Con estos abonos, aumentamos la capacidad que posee el suelo de absorber los distintos elementos nutritivos, los cuales aportaremos posteriormente con los abonos minerales o inorgánicos (Fairhurst, T. 2002).

- **Manejo de rastrojo o y la labranza.-**La incorporación de la paja al suelo retorna la mayoría de los nutrientes absorbidos por el cultivo, y ayuda a conservar las reservas de nutrientes en el suelo a corto y largo plazo. De igual manera, incrementa las reservas N, P y Si. La incorporación de rastrojo y la labranza en el suelo incrementa la disponibilidad del N hasta la fase de crecimiento vegetativo (Fairhurst, T. 2002).
- **Abonos verdes.-** Es toda aquella planta que se cultiva o a la que se le permite su crecimiento, especialmente leguminosas como (trébol, alfalfa, frejol) o gramíneas como (avena, cebada, reygrass), luego son incorporadas al suelo sin previa descomposición, con el fin de proteger, recuperar, aportar y mejorar las condiciones biológicas, físicas y nutricionales del suelo que ayuden al desarrollo de los cultivos. (CEDECO 2005).
- **Gallinaza.-** es de uso frecuente en la agricultura, debe comportarse para que los microorganismos descompongan la materia orgánica y ponga a disposición los nutrientes para las plantas (Langdale y Shrader. 1982), citado por López, (1991).
- **Ecoabonaza.-** se deriva de la pollinaza de la granja de engorde de PRONACA, la cual es compactada, clasificada y procesada para potenciar sus cualidades. Por su alto contenido de materia orgánica, mejora la calidad de los suelos y provee los elementos básicos para el desarrollo apropiado a los cultivos.
- **La composta.-** es un tipo de abono orgánico que se prepara con diferentes materiales orgánicos, presentando grandes beneficios para los cultivos como: aumenta las cosechas, si la tierra es arenosa la hace más firme e incorpora macro y micronutrientes al suelo. (CEDECO 2005)

#### 2.8.11.1. Forma de aplicación y Frecuencias

Es necesario aplicar fertilizantes para completar los requerimientos de nutrientes del cultivo que no son satisfechos por los nutrientes nativos del suelo para obtener la

meta de rendimiento. La dosis total de un nutriente aplicado con los fertilizantes depende del déficit entre la necesidad total del nutriente para obtener la meta de rendimiento y el suplemento del nutriente proveniente del suelo, determinado en la respectiva parcela de omisión.

El manejo de N es el más difícil en todos los sistemas de cultivo. El MNSE permite un manejo dinámico de este nutriente que busca incrementar la eficiencia aplicando N en épocas críticas para el cultivo. En cada época crítica el color de la hoja indica la necesidad de aplicar N. Para lograr esto, se utiliza la tabla de comparación de colores desarrollada para arroz por el IRRI (Internacional Rice Research Institute).

El color de la hoja determina el estado de N en la planta y permite ajustar las dosis fraccionadas de N durante las primeras etapas del ciclo del cultivo. (Witt, et al. 2002).

#### **2.8.11.2. Necesidades del Maíz**

El maíz requiere alrededor de 20 a 25 kg/ha de nitrógeno (N) por cada tonelada de grano producida. Esta cantidad sería la demanda para satisfacer esa necesidad para mantener el sistema en equilibrio nutricional. Esta aproximación es lo que se conoce como criterio o modelo de balance. Sin embargo, la diferencias entre las cantidades de N en el suelo y las absorbidas por el cultivo son determinadas por las llamadas eficiencias de absorción, que varían según se considere al N presente en el suelo a la siembra, al N mineralizado durante el cultivo y al N aportado como fertilizantes.

Este valor tendrá relación directa con la temperatura y humedad que reguló el crecimiento del maíz hasta el estadio de 4 a 6 hojas. En varias regiones maiceras, se ha establecido que un valor de alrededor de 18 a 20 ppm de N de nitratos ( $N-NO_3^-$ ) en esas condiciones es indicador de suficiencia, ofreciendo bajas posibilidades de respuesta económica al agregado de N como fertilizante (Fairhurst, T.; Witt, C. 2002).

Las posibles pérdidas de nitrógeno son contempladas en la eficiencia de uso, normalmente oscila alrededor del 50 %, con máximos de 70 %, si se aplica durante los momentos de máxima capacidad de absorción, dosis no excesivas, proporcionales a su utilización y con fuentes de bajo potencial de volatilización como amoníaco. El maíz comienza su mayor consumo de nitrógeno alrededor de seis hojas completamente expandidas (V-6 a V-7), por lo que antes de comenzada esta etapa fenológica, el cultivo debería de disponer de una oferta de nitrógeno adecuada para satisfacer su demanda para crecimiento. Las estrategias de fertilización podrían resumirse en tres posibilidades:

- Fertilizar únicamente a la siembra o incluso antes.
- Fertilizar sólo con el cultivo implantado entre dos y siete hojas (V2/V6).
- Fraccionar la dosis entre la siembra y V-7 en dos aplicaciones.

De las tres alternativas, la aplicación a la siembra integra globalmente ventajas en los aspectos operativos, agronómicos y económicos. Sin embargo, los equipos de siembra que disponen de doble cajón fertilizador para colocar separadamente al nitrógeno fuera de la línea de semillas no son abundantes. Por esa razón, serían más recomendables las aplicaciones fraccionadas, donde se garantice una gran parte de la necesidad total de nitrógeno a la siembra (70 a 80 %), regulando luego la cantidad de nitrógeno restante en función de la evolución de la campaña y de las posibilidades ofrecidas por las condiciones climáticas, ya que muchas veces, al coincidir la primavera lluviosa con ese periodo, se pierde la oportunidad y el follaje avanza impidiendo una fácil circulación entre líneas, agravada por la tendencia creciente a sembrar con espaciamiento de 52 cm.

Una recomendación intermedia en este sentido es fraccionar en dos veces, pero aplicando en lugar de a la siembra la mayor proporción del N en estadios muy tempranos hasta 3 hojas, cuando la planta es flexible y admite tráfico de maquinaria de aplicación con cubiertas de alta flotación (Fairhurst, T.; Witt, C. 2002).

Ventajas y desventajas de diferentes momentos de fertilización con Nitrógeno.

<b>Momento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Presiembra</b>	Simplicidad operativa	Riesgo de lavado de nitratos hasta desarrollo de las raíces. No recomendable antes de 30 días de la siembra.
<b>A la siembra</b>	Simplicidad operativa	Riesgo de lavado (lixiviación) de nitratos hasta desarrollo de raíces.
	El N queda disponible inmediatamente para el cultivo.	Riesgo de fitotoxicidad en aplicaciones junto con la semilla. Depende de dosis y ambiente.
	Facilidad para incorporar al suelo.	
<b>Entre 2 y 8 hojas (V-2 y V-8)</b>	Mayor eficiencia de utilización con fuentes de fertilizantes que no volatilizan	Si no se incorpora al suelo, hay riesgo de pérdida de N por volatilización de amoníaco (fertilizantes con urea). Depende del ambiente (temperatura y humedad de suelo).
<b>Fraccionada</b>	Necesaria para aplicar dosis elevadas.	Mayor complejidad operativa.
	Distribuye y reduce el riesgo económico de la práctica.	Mayores costos de aplicación

## 2.8.12. Características Físicas del Suelo

### 2.8.12.1. Textura

Es la proporción en que se encuentra los diferentes separados (arena, limo, arcilla), que conforman el suelo. De acuerdo con el separado que predomine en el suelo, éste recibe su nombre, dando origen a los siguientes tipos de suelo:

- **Suelos arenosos o livianos:** Son suelos sueltos con mucha aireación, baja retención de agua, muy permeable, poco fértil, especialmente se encuentran en zonas de alta pluviosidad.
- **Suelos arcillosos o pesados:** Son suelos con buenas propiedades químicas, pero de propiedades físicas de difícil manejo, poco permeables; se erosionan con facilidad debido a que el agua no penetra, sino que corre superficialmente y arrastra nutrientes.
- **Suelos limosos:** Las propiedades físicas y químicas de estos suelos hacen que se encharquen fácilmente, ocasionando algunos problemas a las plantas por deficiencia de oxígeno.
- **Suelos francos:** Estos suelos son ideales porque tienen proporción adecuada entre sus componentes (arena, limo, arcilla). Presentan proporciones físicas y químicas adecuadas para el desarrollo de las plantas (Manual Agropecuario. 2004).

#### 2.8.12.2. Densidad Aparente

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de importantes características del suelo, tales como [porosidad](#), grado de aireación y capacidad de [drenaje](#) (Jackson, M. 1982).

En un tipo de suelo los valores bajos de densidad aparente implican suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje. Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo es compacto o poco poroso, que tiene poca porosidad en su composición, que la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar anegamientos (Jackson, M. 1982).

### **2.8.12.3. Compactación del suelo**

Es el aumento en la densidad de un suelo como resultado de cargas aplicadas o de presión. Esto implica que el suelo tiene cierta densidad o estado de compactación antes de la aplicación de la fuerza. En otras palabras, “la compactación del suelo es un comportamiento dinámico del suelo por el cual el estado de compactación aumenta”.

### **2.8.12.4. Estructura del suelo y Agregados**

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan **agregados**.

Las partículas del suelo se clasifican como arena, limo y arcilla. Las partículas de arena tienen diámetros entre 2 y 0,05 mm, las de limo entre 0,05 y 0,002 mm, y las de arcilla son menores de 0,002 mm. En general, las partículas de arena pueden verse con facilidad y son rugosas al tacto. Las partículas de limo apenas se ven sin la ayuda de un microscopio y parecen harina cuando se tocan. Las partículas de arcilla son invisibles si no se utilizan instrumentos y forman una masa viscosa cuando se mojan (Baver. 1991).

### **2.8.12.5. Clasificación taxonómica del Suelo**

- **Orden Inceptosoles**

Suelos que evidencian un incipiente desarrollo pedogenético, dando lugar a la formación de algunos horizontes alterados; los procesos de traslocación y

acumulación puede presentarse. Constituye una etapa subsiguiente de evolución, en relación con los Entisoles, sin embargo son considerados inmaduros en su evolución.

Los Incéptisoles ocurren en cualquier tipo de clima y se han originado a partir de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas); en posiciones de relieve extremo, fuertes pendientes o de presiones o superficies geomorfológicas jóvenes. La definición de los Incéptisoles es inevitablemente complicada. Abarca suelos que son muy pobremente drenados a suelos bien drenados y como ya se ha indicado en la presencia de algunos horizontes diagnósticos, sin embargo el perfil ideal del Inceptisoles incluiría una secuencia de un epipedonócrico sobre un horizonte cámbrico (Baver. 1991).

El uso de estos suelos es muy diverso y variado, las áreas de pendientes más apropiadas para la reforestación mientras que los suelos de depresiones drenaje artificial pueden ser cultivados intensamente. Dentro de este Orden se identifican tres subórdenes caracterizados por la humedad, temperatura y mineralogía del suelo (Henesal. 2002).

- **Suborden Andeps**

Son los Inseptisoles originados de las cenizas volcánicas y se encuentran cerca de las montañas que tienen actividad volcánica (principalmente en el callejón interandino). Son suelos que se presentan más o menos sin restricciones de drenaje, tiene una baja densidad aparente ( $<0.8$  g/cc), apreciable cantidad de alófana, alta cantidad de intercambio catiónico y alto contenido de minerales piroplásticos. Características principal de estos suelos debido a que pueden ser originados de diferentes aportes volcánicos, presentan muchas veces horizontes “enterrado” que corresponden a anteriores capas superficiales ricas en materia orgánica. Los grandes grupos se definen en función de los criterios: saturación en baja retención de humedad (Baver. 1991).

- **Hídrandeps**

Son los Andeps negros de regiones con muy alta pero bien distribuida precipitación. Estos suelos tienen siempre un contenido de húmeda por debajo de la capacidad de campo. La lixiviación es casi un proceso continuo (Henesal. 2002).

- **Suborden dystrandeps**

Son los Andeps que poseen una humedad inferior al s: 100%, gran cantidad de carbón orgánico y materiales amorfos y un bajo contenido de bases. Se han desarrollado en climas húmedos. Poseen un alto poder de fijación del fósforo, lo cual limita su capacidad de uso. Sus profundos de color muy negro en las zonas frías y amarillentas en las zonas cálidas y templadas (Henesal. 2002).

- **Eutrandeps**

Son los Andeps con gran cantidad de materiales amorfos y carbón orgánico y alto contenido de bases.

- **Itrandeps**

Son los Andeps caracterizados por la presencia de grandes cantidades; de materiales piroplásticos como vidrio, ceniza y pómez. De texturas arenosas francas (Baver. 1991).

- **Andisoles**

Suelos desarrollados sobre ceniza volcánica, que tienen baja densidad aparente (menor de (0.9 g/cc) y con altos contenidos de alófono. Generalmente son suelos con

alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo. Son suelos de color oscuro (Henesal. 2002).

Sin embargo por sus mismas características y las posiciones que en algunos casos ocupan en el relieve tienden a erosionarse con facilidad. Una característica de los andisoles es su alta retención de fosfatos (arriba del 85 %) lo cual es una limitante para el manejo, por lo que se debe de considerar en los planes de fertilidad (Henesal. 2002).

- **Suborden Udands**

Andisoles que no están secos en su interior, por más de 90 días en el año. Tienen un adecuado contenido de humedad la mayor parte del año, se halla presente en climas húmedos (Henesal. 2002).

### **2.8.13. Características químicas del suelo**

#### **2.8.13.1. pH, acidez y alcalinidad**

Desde el punto de vista del cultivo de las plantas se define al pH como presencia o ausencia de iones hidrogeno en el suelo; es decir, es el resultado de la relación que existe entre las concentraciones de  $H^+$  y  $OH^-$ . Si predominan los protones estaremos hablando de un suelo ácido, mientras que si son los grupos hidroxilo los que están predominando el suelo será alcalino. Por último, si tanto el grupo  $OH^-$  como el grupo  $H^+$  poseen las mismas concentraciones será un suelo neutro (Jackson, M. 1982).

#### **2.8.13.2. Capacidad de Intercambio Catiónico**

Es una de las propiedades químicas más importante del suelo porque está relacionada con la fertilidad y la acidez del suelo. El CIC es la capacidad que tiene un suelo con un pH determinado de intercambiar iones positivos, liberándolos y/o reteniéndolos en

función de su composición. Es decir la estructura química de un suelo y los aportes de abonos o nutrientes es la causa de que determinados iones de determinados elementos químicos puedan “pasar” de un elemento a otro. Dado que los cationes son iones positivos y las arcillas son ricas en aniones, o iones negativos, el mayor intercambio por atracción electrostática se realiza en suelos arcillosos, permitiendo al suelo retener e intercambiar esos elementos, lo cual evita que se pierdan y así mantener la fertilidad. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se expresa en mili equivalentes por 100 g de suelo, y es una medida de la cantidad de cationes fácilmente intercambiables que neutralizan la carga negativa existente en el suelo (Manual Agropecuario. 2004).

### **2.8.13.3. Materia Orgánica**

La materia orgánica forma parte del ciclo del nitrógeno, del azufre y del fósforo, contribuye a la asimilación de nutrientes, mejora la estructura y la retención de agua del suelo y da soporte a todo un mundo de microorganismos cuya actividad resulta beneficiosa para el cultivo (Manual Agropecuario. 2004).

La materia orgánica procede de los seres vivos (plantas o animales superiores o inferiores) y su complejidad es tan extensa como la composición de los mismos seres vivos. La descomposición en mayor o menor grado de estos seres vivos, provocada por la acción de los microorganismos o por factores abióticos da lugar a un abanico muy amplio de sustancias en diferentes estados que son los constituyentes principales de la materia orgánica. (Manual Agropecuario. 2004).

### **2.8.13.4. Conductibilidad Eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado,

del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse (Jackson, M. 1982).

#### **2.8.13.5. Macro y micro nutrientes**

- **Macronutrientes**

Los macronutrientes son aquellos elementos primordiales para el desarrollo de los cultivos y son absorbidos por las raíces de las plantas en grandes proporciones para su buen desarrollo. Dentro de los macronutrientes tenemos los siguientes elementos:

- **Nitrógeno ( N )**

El nitrógeno es importante en el cultivo porque es un componente esencial de los aminoácidos, proteínas, clorofila, de las enzimas y otros componentes que se encuentran en las membranas celulares. La mayor parte del nitrógeno presente en el tejido vegetal de la planta se presenta como proteína enzimática en los cloroplastos y formando parte de las proteínas en las semillas.

La principal función del nitrógeno es estimular el crecimiento de la planta, especialmente en la etapa inicial de crecimiento vegetativo, generando un alto índice de área foliar y prolongando el período útil de las hojas a través del tiempo. El N además, incrementa el número de ejes durante de floración, el número de flores, número y peso de la vaina, aumentando por lo tanto el rendimiento. Además regula la cantidad de hormonas dentro de la planta.

Una deficiencia de nitrógeno reduce y retrasa el crecimiento de la planta, disminuye el número de semillas y su peso, lo que se traduce en un menor rendimiento. Se produce un menor desarrollo de las vainas y, en etapas fenológicas más avanzadas, estas vainas no podrían redistribuir el nitrógeno asimilado a las semillas.

La falta de N reduce la cantidad de flores y acorta el periodo de floración y la actividad fotosintética, debido a que aumenta la producción de ácido abscísico (Principales de Nitrógeno. 2003).

- **Fósforo ( P )**

El P es esencial para el transporte y almacenamiento de energía en la planta. El P es móvil dentro de la planta, promueve el macollamiento, el desarrollo de la raíz, la floración temprana y la maduración. Es particularmente importante en las primeras fases de crecimiento

La primera señal de la falta de P es una planta pequeña, la forma de la hoja se distorsiona, cuando la deficiencia es severa se desarrollan áreas muertas en la hoja el fruto y el tallo debido a su baja movilidad las hojas bajas son las primeras en afectarse, un color púrpura rojizo aparece por la acumulación de azúcares, aparece en la planta de maíz en otros cultivos sensibles al déficit de P especialmente a bajas temperaturas, adicionalmente la falta de P retarda la madurez (Witt, C. 2 002).

- **Potasio ( K )**

El K tiene funciones esenciales en las células de la planta y se requiere para el transporte de los productos de la fotosíntesis. El K fortalece las paredes celulares y contribuye a una mayor fotosíntesis y a mayor crecimiento de la planta, cuando existe deficiencia se reduce el proceso fotosintético y aumenta la respiración. A diferencia del N y P, el K no tiene un efecto mayor en el macollamiento, sin embargo, su presencia incrementa el número de granos por mazorca, el porcentaje de granos y el peso.

La deficiencia de K en maíz se presenta con los siguientes síntomas:

Acortamiento de los nudos y crecimiento reducido, quemado o secamiento de los márgenes exteriores de la hoja mientras que la parte media permanece verde, mazorcas que no se llenan completamente y grano de mal aspecto (Witt, C. 2 002).

- **Calcio ( Ca )**

El Ca pertenece a los llamados nutrientes secundarios, este es absorbido por la planta en forma de catión  $Ca^{++}$ , una vez dentro de la planta, el Ca funciona en varias formas: estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas, ayuda a activar varios procesos enzimáticos, influye indirectamente en el rendimiento

La deficiencia de Ca generalmente aparece primero en las hojas jóvenes. La deficiencia de Ca también limita la función de las raíces y puede predisponer la toxicidad de Fe. Un adecuado suplemento de Ca incrementa la resistencia a enfermedades causado por Xanthomonas o Helminthosporium (Witt, C. 2002).

- **Magnesio ( Mg )**

El Mg es constituyente de la clorofila y por lo tanto esta involucrado en la fotosíntesis. El Mg es muy móvil puede translocarse fácilmente de hojas viejas a hojas jóvenes, por esta razón, los síntomas de deficiencia aparecen primero en hojas viejas.

Los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas inferiores (viejas), las hojas presentan un color amarillento, bronceado o rojizo, mientras que las venas se mantienen verdes, en el maíz se presentan fajas amarillentas a lo largo de las hojas (Witt, C. 2002).

- **Micronutrientes**

Consideramos micronutrientes a los elementos esenciales cuya concentración en planta es menor a 0.1% en peso seco. Actualmente se consideran micronutrientes a los siguientes elementos: [Hierro](#), [Manganeso](#), [Zinc](#), [Cobre](#), [Boro](#), [Molibdeno](#), [Cloro](#), [Níquel](#).

Los micronutrientes presentan dos características generales que les diferencian de los macronutrientes:

El orden de magnitud de las concentraciones de micronutrientes en los tejidos vegetales es significativamente inferior a los de los macronutrientes.

Los micronutrientes no participan en procesos que dependen de concentración, como los osmóticos, pH, antagonismo catiónico. Una excepción es el cloro que puede tener un papel osmótico. Tampoco suelen desempeñar funciones estructurales, a excepción del boro en la pared celular (Witt, C. 2002).

- **Zinc (Zn)**

El Zn es esencial para varios procesos bioquímicos en la planta de maíz. El Zn se acumula en las raíces, pero puede traslocarse hacia las partes de la planta en desarrollo. Sin embargo, debido a que existe poca re-taslocación de Zn deficiencia de N, los síntomas de la deficiencia de Zn son más comunes en las hojas jóvenes.

La deficiencia de Zn en maíz hace que el ápice se torne de color amarillento claro a blanco en las etapas iniciales de crecimiento de la planta, las hojas desarrollan franjas de color amarillento (clorosis) localizadas a un lado o a ambos lados de la nervadura central (Witt, C. 2002)

- **Azufre (S)**

El S es absorbido por la planta desde la solución del suelo en forma de  $\text{SO}_4$  siendo el S parte de todas y cada una de las células vivientes participa en la síntesis de proteínas, forma parte 2 de los 21 aminoácidos. También interviene en el metabolismo de los carbohidratos, ayuda a la formación de la semilla (Witt, C. 2002).

Las plantas que tienen deficiencia de S presentan un color verde pálido y crecimiento lento, las hojas se arrugan a medida que la deficiencia avanza, los síntomas de deficiencia son similares a los de N con la diferencia que siendo menos móvil que este las deficiencias de S son más visibles en las hojas más jóvenes (Witt, C. 2002).

- **Silicio (Si)**

El Si es un nutriente “benéfico” para el maíz. La planta requiere este elemento para desarrollar hojas, tallos y raíces fuertes. La eficiencia del uso del agua se reduce en plantas que tienen deficiencia de Si (Witt, C. 2002).

- **Hierro (Fe)**

El Fe es un metal que cataliza la formación de la clorofila y actúa como un transportador del oxígeno, también ayuda a formar ciertos sistemas enzimáticos que actúan en los procesos de respiración.

La deficiencia de Fe puede ser causada por un desbalance con otros metales como Mo, Cu o Mn, también puede influir un exceso de P en el suelo, niveles bajos de materia orgánica en el suelo (Witt, C. 2002).

- **Manganeso (Mn)**

El Mn está involucrado principalmente en el sistema enzimático de la planta, activa varias reacciones metabólicas importantes. El Mn acelera la germinación y la maduración de las plantas e incrementa la disponibilidad de P y Ca.

Debido a que el Mn no se trasloca en la planta, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas jóvenes como un amarillamiento entre las venas, en algunas ocasiones aparecen una serie de puntos de color café oscuros, las deficiencias de Mn ocurren con más frecuencia en suelos con alto contenido de materia orgánica y con pH de neutro a alcalinos (Witt, C. 2002).

- **Cobre (Cu)**

El Cu tiene un papel importante en los siguientes procesos: metabolismo de N, proteínas y hormonas, fotosíntesis y respiración, formación y fertilización del polen.

Los síntomas comunes de la deficiencia de Cu en cereales son la falta de formación de panoja o granos, las hojas pierden la turgencia, que luego desarrollan un color azul-verdoso y luego se tornan cloróticas finalmente enrollándose. Estas plantas no llegan a florecer. Los suelos orgánicos son los más propensos a ser deficientes en Cu, por lo general tienen cantidades adecuadas de Cu sin embargo esta tan fuertemente retenido que muy poca cantidad está disponible para el cultivo, mientras los suelos arenosos presentan deficiencia debido a las pérdidas por lixiviación, son los suelos pesados (arcillosos) los que presentan menores índices de deficiencia de Cu (Witt, C. 2002).

- **Boro (B)**

El B es esencial para la germinación de los granos de polen, el crecimiento del tubo polínico y para la formación de semillas, además tiene un importante constituyente de la pared celular.

Debido a que el B no se transloca al crecimiento nuevo, los síntomas de deficiencia generalmente aparecen primero en las hojas jóvenes, otro síntoma de deficiencia es la detención en el crecimiento de las plantas. La respuesta de los cultivos a la

fertilización es muy variada siendo los cereales los que menos responden, existe un estrecho rango entre la deficiencia de B y la toxicidad por lo cual los fertilizantes que contengan este nutriente deberán ser aplicados con sumo cuidado y uniformemente (Witt, C. 2002).

## **2.8.14. Características biológicas del suelo**

### **2.8.14.1. Importancia**

El suelo es una mezcla de materias orgánicas e inorgánicas conteniendo una gran variedad de macroorganismos (por ejemplo lombrices, hormigas, tijerillas, etc.) y microorganismos (como bacterias, algas, hongos). El suelo provee ancla y soporte para las plantas, las cuales extraen agua y nutrientes de él. Estos nutrientes están devueltos al suelo por la acción de los organismos del suelo sobre las plantas muertas o en vía de morir y la materia de origen animal (Martin, A. et. al. 1980).

La fertilidad es la función principal de la eficiencia en este ciclo de reciclaje continuo. La proporción de nutrimentos no disponibles, sea en la biomasa o en el suelo, en un momento dado, es función del clima. Los organismos del suelo son inactivos a bajas temperaturas. La actividad aumenta conforme aumenta la temperatura (pero cesa de nuevo cuando hace mucho calor) (Manual Agropecuario. 2004).

La diferencia de ritmo de reciclaje de nutrientes es responsable del incremento en el ritmo de crecimiento y del aumento de la diversidad de las especies cuando pasamos de un área templada a una región tropical (Manual Agropecuario. 2004).

- **Macroorganismos**

Forman parte del ecosistema del suelo, de las raíces de vegetales y pueden ser:

- **Mamíferos.-** (ratones, topos), crean galerías que permiten la penetración del agua y aire en el suelo.
- **Artrópodos.-**(crustáceos, arácnidos, etc.) trocean la materia orgánica y producen con sus excrementos un soporte adecuado a la vida microbiana-
- **Lombrices.-** escavan galerías en todos los sentidos aireando el suelo. Al mezclar la tierra y la materia orgánica en su intestino mejoran la fertilidad de los suelos.
- **Moluscos.-** (babosas y caracoles) comen la materia orgánica. (Manual Agropecuario. 2004).
- **Microorganismos:** Los microorganismos son el conjunto de seres vivos que se caracterizan por tener un tamaño pequeño de modo que la mayoría de ellos no son visibles a simple vista, teniendo una gran sencillez en su estructura y organización. Dentro de los cuales tenemos los grupos principales:
  - **Cianobacterias:** Realizan la fotosíntesis oxigénica. Tienen nutrición autótrofa y muchas asimilan nitrógeno atmosférico, gracias a la enzima nitrogenasa. Por eso habitan cualquier ambiente siendo sus preferidos: manantiales, rocas mojadas, aguas dulces y el suelo.
  - **Bacterias fototróficas anoxigénicas:** Realizan la fotosíntesis anoxigénica y la fijación del CO<sub>2</sub> es mediante el ciclo de Calvin.
  - **Algas:** Nutrición autótrofa y que viven en medios acuáticos. Pertenecen al heterogéneo mundo de los microorganismos. Son omnipresentes en todas las aguas, constituyendo más del 90% del fitoplancton, auténtico forraje de mar.
  - **Hongos:** Se incluyen en el heterogéneo mundo de los microorganismos por su tamaño.
  - **Mohos:** hongos que se caracterizan por su pequeño. Son heterótrofos en sus tres variantes: saprófitos, parásitos y simbioses. Como simbioses son notorios los que viven sobre las raíces de muchas plantas formando una asociación denominada micorriza (Martin, A., et al., 1980).

Los microorganismos presentan los siguientes beneficios:

- **Reciclado de nutrientes:** los microorganismos son responsables del reciclado de la materia orgánica en descomposición, volviendo a originar materia inorgánica asimilable por las plantas. En ésta acción se basa la utilización del estiércol.
- **Fijación del nitrógeno atmosférico:** en la producción de arroz, soja, alfalfa, judías, guisantes, lentejas, garbanzos cuya simbiosis con la bacteria *Rhizobium* ya ha sido expuesta.
- **En el aparato digestivo** de rumiantes (rumen) existen en simbiosis bacterias que permiten digerir la celulosa.
- **Eliminación de varios contaminantes** mediante el empleo de microorganismos de Biodegradación de plaguicidas: incluimos herbicidas, insecticidas y fungicidas utilizados en agricultura (Martin, A. et al. 1980).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1. Ubicación del ensayo

Provincia:	Bolívar
Cantón:	Guaranda
Parroquia:	Veintimilla
Sitio:	Granja Laguacoto III

##### 3.1.2 Situación geográfica y climática

Parametro	Valor
Altitud:	2.630 msnm
Latitud:	01° 36'52'' S
Longitud:	78° 59'54'' W
Temperatura máxima:	21°C
Temperatura mínima:	7°C
Temperatura media:	14.4°C
Precipitación media:	980 mm
Heliofania (H/L)/AÑO:	900
Humedad Relativa:	70%
Velocidad promedio del viento:	6 m/s

Fuente Estación Meteorológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar, 2008. Monar, C. 2009

##### 3.1.3. Características físicas-químicas del suelo.

Tipo de Suelo:	Andisol
Textura:	Franco Arcillosa
Densidad Aparente:	1.1.-1.2
pH:	6.8
N:	Medio-Bajo
P2O5:	Medio-Alto
K:	Medio-Alto
S:	Bajo
Materia Orgánica:	< 3%

(Monar, C. 2009).

#### **3.1.4. Zona de vida**

La localidad en estudio, corresponde al piso montano o templado frío. (T.F) (Hidrovo, J. 1994 y Monar, N. 1997).

#### **6.1.5. Material experimental**

Semilla certificada de maíz variedad INIAP-111, Guagal Mejorado sin desinfectar, cepas *Azospirillum spp*, y como fuente de Nitrógeno la urea al 46% de Nitrógeno.

- **Materiales de laboratorio:**

- Cajas petric
- Micro pipetas
- Espátula
- Papel absorbente
- Porta y cubre objetos

- Tips
- Plásticos
- Azas
- Marcadores
- Varillas de agitación
- Fundas de polipropileno
- Tubos ependorf etc.
  
- **Reactivos:**
  - Alcohol antiséptico
  - Alcohol industrial 95-96%
  - Cloruro de Sodio (NaCl)
  - Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ )
  - Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
  - Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ )
  - Azul bromothymol
  - Extracto de levadura agar-agar
  - D-L ácido Málico
  - Hidróxido de Potasio (KOH)
  - Rojo Congo
  - Extracto de Carne
  - Peptona
  - Agua destilada etc.
  
- **Materiales de campo:**
  - Lote de 1406 m<sup>2</sup>
  - Cámara Fotográfica
  - Balde plástico

- Libro de campo
- Flexómetro
- Herramientas manuales
- Balanza de reloj
- Aceite vegetal
- Bomba de mochila
- Envases
- Estacas
- Piola
- Azadones,

### 3.2. MÉTODOS

#### 3.2.1. Factores en estudio

**Factor A.** Tres cepas de *Azospirillum* spp, según el siguiente detalle:

Código	Identificación	Procedencia
C1	Testigo sin cepa	
C2	Cepa –Bolívar	Bolívar, Guaranda, Veintimilla, Laguacoto II
C3	Cepa – Tungurahua	Píllaro, Emilio Terán, El Capulicito
C4	Cepa - Chimborazo	Alausí, Sibambe, Cochapamba

**Factor B.** Tres dosis de Nitrógeno.

<b>Código</b>	<b>Descripción kg / Ha</b>
N1	Sin Fertilización (0)
N2	Fertilización (60)
N3	Fertilización (120)

**3.2.2. Tratamientos**

<b>Trat</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
T1	N1 C1	0Kg\Ha de N y sin cepa (testigo)
T2	N1 C2	0Kg\Ha de N + cepa de Bolívar.
T3	N1 C3	0Kg\Ha de N + cepa de Tungurahua.
T4	N1 C4	0Kg\Ha de N + cepa de Chimborazo.
T5	N2 C1	60Kg\Ha de N y sin cepa
T6	N2 C2	60Kg\Ha de N + cepa de Bolívar.
T7	N2 C3	60Kg\Ha de N + cepa de Tungurahua.
T8	N2 C4	60Kg\Ha de N + Chimborazo.
T9	N3 C1	1200Kg\Ha de N y sin cepa
T10	N3 C2	120Kg\Ha de N + cepa de Bolívar.
T11	N3 C3	120Kg\Ha de N + cepa de Tungurahua.
T12	N3 C4	120Kg\Ha de N + cepa de Chimborazo.

**3.2.3. Procedimiento**

Tipo de diseño: Bloques Completos al azar (DBCA) en arreglo factorial 4 x 3.

Número de tratamientos: 12

Número de repeticiones/localidad: 3

Número de unidades experimentales/localidad: 36

Superficie total de la unidad experimental: 20 m.<sup>2</sup> (5 m. x 4 m.)

Superficie de la unidad experimental neta:	12 m. <sup>2</sup> (4 m. x 3 m.)
Área total del ensayo:	1406 m <sup>2</sup>
Área neta total del ensayo:	432 m <sup>2</sup>
Número de plantas por parcela:	110
Número de plantas por parcela neta:	54
Número de plantas por golpe:	2
Número de surcos por parcela total:	5
Número de surcos por parcela neta:	3
Distancia entre surcos:	90 cm.
Distancia entre plantas:	50 cm.

### 3.2.4. Tipos de análisis.

- Análisis de varianza según el siguiente detalle:

FUENTES DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CME
Bloques (r-1)	2	$\sigma^2_e + 12b\sigma^2_{\text{bloques}}$
Factor A (Biofertilizante) (a-1)	3	$\sigma^2_e + 9\sigma^2_A$
Factor B (dosis de nitrógeno) (b-1)	2	$\sigma^2_e + 12\sigma^2_B$
Fac. A x Fac. B (a-1) (b-1)	6	$\sigma^2_e + 3\sigma^2_{A \times B}$
Error Experimental (t-1) (r-1)	22	$\sigma^2_e$
Total (t*r) -1	35	

\*CME: Cuadrados Medios Esperados. Modelo fijo. Tratamientos seleccionados por el investigador.

- Prueba de Tukey al 5% para comparar promedios, del Factor A, Factor B e interacción A x B.
- Tendencias polinomiales para el Factor B.
- Análisis de eficiencia agronómica Nitrógeno.

### **3.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y DATOS TOMADOS**

#### **3.3.1. Física de suelos.**

##### **3.3.1.1. Determinación de la textura y densidad aparente del suelo. (DTDAS)**

Se tomaron muestra de suelo al inicio del ensayo. Los análisis se realizaron mediante la metodología de análisis químico establecido por el Laboratorio de Suelos y Aguas del INIAP-Estación Experimental Santa Catalina (Alvarado, S. et. al. 2000).

##### **3.3.1.2. Determinación de la profundidad del suelo. (DPS)**

Se realizó una calicata al inicio del ensayo a una profundidad de 60 cm y con un flexómetro se midió la profundidad de la capa arable.

#### **3.3.2. Química del suelo al inicio. (QSA)**

##### **3.3.2.1. Macro y micro nutriente, nitrógeno en forma de $\text{NH}_4^+$ , pH y Materia Orgánica del suelo.**

Se tomaron dos muestras de suelo al inicio del ensayo, para un análisis físico y químico. Al final del ensayo se tomó una muestra de suelo a una profundidad de 30 cm, para un análisis exclusivo de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ . Los análisis se realizaron mediante la metodología de análisis químico establecido por el Laboratorio de Suelos y Aguas del INIAP-Estación Experimental Santa Catalina (Alvarado, S. et. al. 2000).

### **3.3.2.2. Bases Ca, Mg y K.**

Indicadores que se registraron en una muestra de suelo al inicio del ensayo. Los análisis se realizaron mediante la metodología de análisis químico establecido por el Laboratorio de Suelos y Aguas del INIAP-Estación Experimental Santa Catalina (Alvarado, S. et. al. 2000).

### **3.3.2.3 Determinación de nitrógeno en el suelo. (DNS)**

A la cosecha en seco de cada parcela neta, se realizaron el análisis de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en el suelo mediante la metodología del análisis químico de suelos establecida en el Laboratorio de Suelos y Aguas del INIAP (Alvarado, S. et. al. 2000).

### **3.3.2.4. Extracción de nitrógeno de la planta (tejido vegetal). (ENP)**

En el material que se utilizó para materia seca, se determinó el contenido de nitrógeno; mediante la metodología de micro Kjeldahl, establecido en el laboratorio de análisis de plantas del INIAP (Alvarado, S. et. al. 2000). Con los resultados obtenidos de concentración de nutrientes y rendimiento de materia seca de la planta; se calculó la extracción de nitrógeno los cuales se expresaron en Kg/ha.

### **3.3.3. Biológicas del suelo. (BS)**

#### **3.3.3.1. Población de Azospirillum spp, antes, al intermedio y al final del ensayo.**

Mediante el análisis microbiológico del suelo (al inicio, intermedio y al final del ensayo), se evaluó la población de Azospirillum spp, de cada unidad experimental en medio NFB (Nitrogen Fixation Biological) semi-sólido (Anexo 5). Los resultados se expresaron en Unidades Formadoras de Colonia por gramo de suelo seco (UFC/gss),

según el método estimativo del número más probable utilizando la tabla de Mc. Crady (Anexo 3.4). Al inicio del ensayo se tomaron tres muestras de suelo para conocer las UFC\gss.

### **3.3.4. Agronómicas**

#### **3.3.4.1. Porcentaje de emergencia (PE)**

Se determinaron dividiendo el número de plantas emergidas para el número de semillas sembradas y se multiplicó por cien, actividad que se realizó en cada parcela hasta los 20 días después de la siembra. (Espinoza, L. 2004).

#### **3.3.4.2. Altura de la planta y mazorca en estado VR3. (APM)**

Al instante en que el 50% de las plantas alcanzaron el estado fenológico VR3 (Estado vegetativo, reproductivo grano lechoso), se evaluaron 10 plantas tomadas al azar de cada parcela neta. Con la ayuda de un flexómetro se midió desde la base hasta el ápice para la altura de planta, mientras que para la altura de inserción de mazorca se midió desde la base del tallo hasta el nudo de inserción de la mazorca. Los valores se registraron en centímetros.

#### **3.3.4.3. Días a la floración masculina, femenina a la cosecha en seco. (DFMFS)**

Se registraron los días transcurridos, desde la siembra hasta cuando más del 50% de plantas presenten flores masculinas y femeninas. Posteriormente se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta la cosecha en seco.

#### **3.3.4.4. Daño a la mazorca por Heliothis zea y Euxesta eluta. (DM)**

Se evaluaron en la cosecha en seco y se calificó el daño causado por *Heliothis zea* y *Euxesta eluta*, utilizando la escala de 1 a 5 propuesta por el (CIMMYT. 1986).

Escala de daño a la mazorca por insectos.

<b>Significado</b>	<b>Valor</b>	<b>% de granos infestados</b>	<b>Valor medio</b>
Sin daño	1	0	0
Infestación débil	2	1 – 10	5,5
Infestación ligera	3	11 – 25	18,0
Infestación moderada	4	26 – 60	43,0
Infestación severa	5	61 – 100	80,5

Con las calificaciones del daño 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.

### 3.3.4.5. Longitud de la mazorca (LM)

Se midió desde la base, en su inserción con el pedúnculo, hasta su ápice después de la cosecha en seco, y el valor que se registró fue el promedio de 10 mazorcas tomadas al azar y se expresó en cm.

#### **3.3.4.6. Profundidad, peso y cantidad de raíces en la cosecha seco. (PPCRCS)**

Se realizaron al momento de la cosecha en seco y de cada parcela neta se tomarán 5 plantas al azar; en donde se procedió a medir la longitud de la raíz con la ayuda de un flexómetro. Posteriormente se clasificaron a las raíces según el siguiente detalle: abundante (7), medio (5) y bajo (3). Finalmente se procedió a pesar las raíces con la ayuda de una balanza analítica en gramos.

#### **3.3.4.7. Diámetro de la mazorca (DM)**

Se midió, con un calibrador Vernier en la parte central de 10 mazorcas tomadas al azar, después de la cosecha en seco y el valor promedio fue expresado en cm.

#### **3.3.4.8. Número de plantas por parcela con mazorcas y sin mazorca. (NPM SM)**

Al momento de la cosecha en seco se contaron el número de plantas con mazorca y vanas cuyo resultado se expresó en porcentaje.

#### **3.3.4.9. Peso en Kg/ parcela. (P Kg/p)**

Cuando el maíz estuvo en madurez comercial se cosecho las mazorcas de cada parcela neta y se pesó con la ayuda de una balanza de precisión en kg\parcela.

#### **3.3.4.10. Contenido de humedad. (CH)**

Una vez cosechado se tomó una muestra de 300 gramos de cada parcela y se determinó la humedad en el laboratorio del INIAP.

#### **3.3.4.9.11 Rendimiento en seco en Kg/ha**

Una vez cosechado se aplicó la formula siguiente:

$$R = PCP \times \frac{10.000 \frac{m^2}{Ha}}{ANC} \times \frac{100 - HC}{100 - HE} \times D$$

Dónde:

R= Rendimiento en Kg/Ha al 14% de humedad.

PCP= Peso de mazorcas en Kg por parcela.

ANC= Área neta cosechada en m<sup>2</sup>.

HC= Humedad de cosecha (%).

HE= Humedad estándar (14%).

D= Porcentaje de desgrane.

### **3.3.5. Información climática**

#### **3.3.5.1 Cantidad de Precipitación. (CP)**

Se registró la cantidad y distribución de la lluvia en mm durante el ciclo del cultivo con el uso de un pluviómetro.

#### **3.3.5.2 Presupuesto parcial y Tasa de Retorno Marginal de los tratamientos**

Para el análisis de presupuesto parcial y Tasa de Retorno Marginal se utilizó el método propuesto por el CIMMYT. 1988. Que considera para el análisis: los resultados de los rendimientos obtenidos ajustados con un factor de ajuste del 20%, el precio actual de campo de maíz, los costos que varíen entre los tratamientos y el precio de campo del inóculo.

## **3.4. MANEJO DEL EXPERIMENTO**

### **3.4.1. Fase de laboratorio**

#### **3.4.1.1. Aislamiento**

El medio de cultivo que se uso para el aislamiento de las especies de *Azospirillum* spp, fue el NFB (Nitrogen Fixation Biological) semigelificado, libre de nitrógeno y con malato como fuente de carbono. (Caballero, J. 1998). El aislamiento se realizó en tres momentos antes, al intermedio y al final del ensayo.

### **3.4.2. Fase de Campo**

#### **3.4.2.1. Análisis del suelo**

Se realizó el análisis físico - químico del suelo, para la determinación de macro y micronutrientes, materia orgánica, pH, y textura; un meses antes de la siembra, con el fin de realizar la recomendación de fertilización orgánica y fertilización inorgánica.

#### **3.4.2.2. Preparación del terreno**

No se realizó la preparación del suelo en forma convencional, porque la siembra se hizo en labranza de conservación y únicamente se hicieron los surcos con azadón separados cada 90 cm y a una profundidad de 20 cm.

#### **3.4.2.3 Inoculación de semilla.**

La inoculación se realizó antes de la siembra colocando el biofertilizante en tres recipientes, para cada tratamiento en donde se colocaron las semillas de maíz INIAP 111, los recipientes se agitaron constantemente hasta que la semilla quedó pegajosa. Si no queda “pegajosa” se puede mejorar la adhesividad agregando agua con azúcar. (Frontera, G. 2006).

#### **3.4.2.4. Siembra**

Se realizó la siembra manualmente colocando 2 semillas de maíz por sitio de la variedad INIAP 111, a una distancia de 50 cm entre planta y 90 cm entre surcos, sin desinfectar la semilla debido a que *Azospirillum* spp, es un microorganismo vivo que no sobrevive a la aplicación de insecticidas, acaricidas y fungicidas y su actividad se reduce en presencia de estos (Bernal, G. y Graham, P. 2001).

#### **3.4.2.5. Fertilización**

La fertilización nitrogenada se realizó en tres momentos a los 45, 90 y 135 días, se utilizó urea como fuente de nitrógeno el cual se aplicó alrededor de la planta, se fracciono en 143,6 g/parcela para 60 kg/Ha y 287,1g/parcela en la dosis de 120 kg/Ha.

#### **3.4.2.6. Control de Malezas**

Se controló en forma manual (deshierbas manuales), debido a que *Azospirillum* spp, es un organismo vivo que no sobrevive a la aplicación de herbicidas, por lo que no se utilizó el control químico.

#### **3.4.2.7. Control de plagas**

Para el control de insectos no se utilizó el control inorgánico, por lo antes mencionado y en caso de ser necesario se utilizaron tres aplicaciones de aceite vegetal comestible para las plagas de la mazorca (*Heliothis zea* y *Euxesta eluta*), de acuerdo a la metodología descrita por (Dobronski, J., et al. 1998).

#### **3.4.2.8. Cosecha**

La cosecha se realizó en forma manual, en seco cuando el cultivo de maíz estuvo en madures fisiológica, es decir la base del embrión en grano presenté un color café oscuro (Monar; C 2000).

#### **3.4.2.9. Desgrane**

El desgrane se realizó en forma manual.

#### **3.4.2.10. Secado**

Se efectuó en un tendal con la ayuda de la luz solar hasta cuando tuvo un 14% de humedad el grano

#### **3.4.2.11. Aventado**

Con la fuerza del viento se separaron las impurezas físicas del grano.

#### **3.4.2.11. Análisis $\text{NH}_4^+$ y $\text{NO}_3^-$ del suelo al final del ensayo.**

Al final del ensayo en cada unidad experimental se tomó una muestra de suelo de 0 a 30 cm de profundidad para realizar el análisis  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  del suelo en el laboratorio de suelos y aguas del INIAP. Santa Catalina.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. VARIABLES AGRONOMICAS.

**Cuadro 1.** Resultado de la prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios del factor A (Cepas de *Azospirillum spp*), en las variables: Porcentaje de emergencia (PE). Altura de la planta y mazorca en estado VR3 (APM). Días a la floración masculina y femenina a la cosecha en seco. (DFMFS). Daño a la mazorca por *Heliothis zea* y *Euxesta eluta*. Longitud de la mazorca (LM). Diámetro de la mazorca (DM). Número de plantas por parcela con mazorca y sin mazorca (NPCM SM). Rendimiento en seco en Kg/Ha (RNT S Kg\Ha).

COMPONENTES DEL RNT	FACTOR A (cepas de <i>Azospirillum spp</i> )				MEDIA GENERAL	C.V %
Porcentaje de emergencia (*)	C4 90,8 A	C1 90,3 AB	C2 89,4 AB	C3 88,8 B	89,8 %	1,50
Altura de la planta (**)	C4 2,76 A	C3 2,66 AB	C2 2,52 B	C1 2,25 C	2,5 m	5,75
Altura de mazorca (**)	C4 1,34 A	C3 1,29 A	C2 1,22 A	C1 0,99 B	1,2 m	8,30
Días a la floración masculina (**)	C1 130 A	C3 128 B	C4 128 B	C2 127 B	128 días	1,03
Días a la floración femenina (ns)	C4 136 A	C1 135 A	C3 132,78 A	C2 131 A	133 días	2,96
Daño a la mazorca por <i>Heliothis zea</i> y <i>Euxesta eluta</i> (*)	C1 15,11 A	C2 6,67 AB	C4 3,11 AB	C3 2,89 B	6,9 %	132,2
Longitud de la mazorca (**)	C4 14 A	C2 13 A	C3 12 A	C1 11 B	12,5 cm	6,66
Diámetro de la mazorca (ns)	C4 5 A	C3 4 A	C2 4 A	C1 4 A	4,3 cm	5,82
Número de plantas con mazorca (**)	C4 105 A	C3 101 A	C2 100 A	C1 90 B	99	4,38
Número de plantas sin mazorca (**)	C1 20 A	C2 10 B	C3 9 B	C4 5 B	11	40,52
Profundidad de raíces (**)	C4 12,29 A	C3 11,04 B	C2 9,96 C	C1 8,16 D	10,36 cm	5,40
Peso de raíces (**)	C4 16,54 A	C3 14,76 B	C2 14,27 B	C1 7,56 C	7,56 gr	4,57
Cantidad de raíces (**)	C4 6,78 A	C3 5,89 B	C2 5,67 B	C1 3 C	5 escala	9,23
Rendimiento en seco en Kg/Ha(**)	C4 5.335,53 A	C2 4.244,26 B	C3 3.869,18 B	C1 2.852,61 C	4.075,39	8,33

Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

Al realizar la prueba de Tukey al 5%, Cuadro 1, encontramos que la respuesta de las cepas de *Azospirillum* spp, fue muy diferente en las variables: AP; AM; DFM; LM; PCM; PSM; PrR; PeR; CR y rendimiento en seco al 14% de humedad. Existió una respuesta significativa de las cepas de *Azospirillum* spp, en las variables: PE; Daño a la mazorca por *Heliothis zea* y *Euxesta elluta*. Sin embargo no existió una diferencia significativa en las variables: DFF; DM.

De acuerdo con la pruebas de Tukey al 5% para AP, se tuvo un promedio general de 2,5 m; para AM 1,2m; para DFM 128 días; para LM 12,5 cm; Para PCM 99%; para PSM 11; para PrR 10,36 cm; para PeR 13,28 gr; para CR 5,33 y para rendimiento en seco al 14% de Humedad 4.075,39Kg\Ha.

La altura de planta es también una característica varietal y depende de su interacción, genotipo - ambiente. La altura reportada en esta investigación, es inferior a la reportada por (Silva, E. y Monar, C.1997).

Los promedios más elevados se presentaron en la cepa 4 Chimborazo con 2,76 m para AP; para AM cepa 4 Chimborazo con 1,34 m; para DFM C1 (testigo) con 128 días; para LM cepa 4 Chimborazo con 14cm; para PCM cepa 4 Chimborazo con 105; para PSM C1 (testigo) con 20; para PrR cepa 4 Chimborazo con 12,29cm; para PeR cepa 4 Chimborazo con 16,54 gr; para CR cepa 4 Chimborazo 6,78 abundante y para rendimiento en seco al 14% de humedad el promedio más elevado se presentó en la cepa 4 Chimborazo con 5.335,53Kg\Ha.

Las variables: AP; AM; DFM; LM; PCM; PSM; PrR; PeR; CR y rendimiento en seco al 14% de humedad son características varietales y dependieron de la interacción genotipo- ambiente, siendo relevante la temperatura, humedad, población de *Azospirillum* spp en el suelo, cantidad y distribución de lluvias etc.

Hay que tener en cuenta, que el efecto benéfico de *Azospirillum* spp, consiste en la producción de giberelinas presentando efectos en el incremento de los pelos radicales, altura de planta. (Piccoli, P. et. al. 1997).

Existió diferencia significativa en las variables: PE; daño a la mazorca por *Heliothis zea* y *Euxesta elluta*, se tuvo un promedio general de 89,8% para PE; para daño en la mazorca 6,9%. Los promedios más elevados para PE se presentaron en la cepa 4 Chimborazo con 90%, esta variable depende de la calidad

de la semilla y de la humedad del suelo. Para daño a la mazorca el promedio más elevado se presentó en C1 (testigo) con 15,11%.

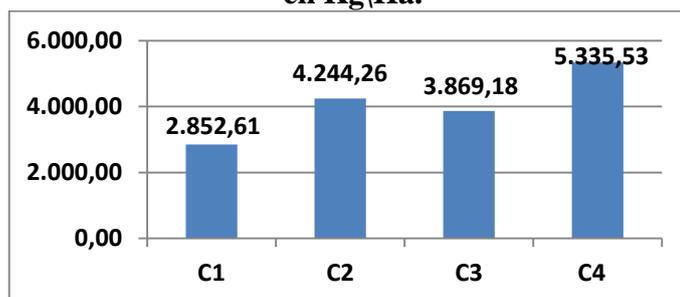
En términos generales existió un buen control de estos insectos plaga con la aplicación del aceite vegetal, en tres aplicaciones en la fase de floración femenina, estos resultados confirman los reportados por varios autores en trabajos de validación de eficiencia de control de gusanos de la mazorca con la aplicación de aceite vegetal en la sierra ecuatoriana.

Para LM, pudo ser un carácter varietal del INIAP-111, por su base genética de los Guagales mismos que tienen mazorcas de 12 a 20 cm de longitud (Monar, C. 2000).

Sin embargo el rendimiento de maíz depende también de otros factores como los varietales, interacción genotipo – ambiente, características físicas, químicas y biológicas del suelo, la eficiencia química y agronómica del Nitrógeno y las condiciones bioclimáticas como la temperatura, la cantidad y distribución de la lluvia, los vientos, evotranspiración, etc. (Monar, C. 2013. Comunicación personal).

Quizás no éxito diferencias significativas para la variable: DM, pudo ser un carácter varietal del INIAP-111, por su base genética de los Guagales mismos que tienen mazorcas de diámetro de entre 4 y 8 cm (Monar, C. 2000).

**Gráfico 1: Respuesta de las cepas de *Azospirillum* spp, rendimiento de maíz en Kg\Ha.**



La respuesta de las cepas de *Azospirillum* spp, en cuanto al rendimiento de maíz en Kg\Ha al 14% de humedad es muy diferente, registrándose el promedio más alto en la cepa C4 (Chimborazo) con un rendimiento de 5.335,53Kg\Ha.

#### 4.2. VARIABLES AGRONOMICAS PARA EL FACTOR B (DOSIS DE NITROGENO).

**Cuadro 2.** Resultados de la prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios del factor B (dosis de Nitrógeno), en las variables: Porcentaje de emergencia (PE). Altura de la planta y mazorca en estado VR3 (APM). Días a la floración masculina, femenina y a la cosecha en seco. (DFM DFF). Daño a la mazorca por *Heliothis zea* y *Euxesta eluta*. Longitud de la mazorca (LM). Diámetro de la mazorca (DM). Número de plantas por parcela con mazorca y sin mazorca. (NPCM SM). Rendimiento en seco en Kg/Ha al 14% de humedad.

COMPONENTES DEL RNT	FACTOR B (dosis de nitrógeno)						MEDIA GNERAL	CV %			
<b>Porcentaje de emergencia (**)</b>	N1	90,50	A	N3	90,25	A	N2	88,75	B	89,83 %	1,50
<b>Altura de la planta (**)</b>	N3	2,68	A	N2	2,59	A	N1	2,37	B	2,54 m	5,75
<b>Altura de mazorca (**)</b>	N3	1,28	A	N2	1,23	A	N1	1,12	B	1,21 m	8,30
<b>Días a la floración masculina (ns)</b>	N1	129,00	A	N2	128,33	A	N3	128,08	A	128 días	1,03
<b>Días a la floración femenina (ns)</b>	N3	134,42	A	N1	133,42	A	N2	132,75	A	133días	2,96
<b>Daño a la mazorca por <i>Heliothis zea</i> y <i>Euxesta eluta</i> (ns)</b>	N1	9,25	A	N3	9,00	A	N2	2,58	A	6,94%	132,2
<b>Longitud de la mazorca (ns)</b>	N3	13	A	N2	13	A	N1	13	A	64,33 cm	6,66
<b>Diámetro de la mazorca (ns)</b>	N3	5	A	N2	5	A	N1	5	A	23,3cm	5,82
<b>Número de plantas con mazorca (ns)</b>	N3	100,42	A	N2	99,75	A	N1	97,17	A	99	4,38
<b>Número de plantas sin mazorca (ns)</b>	N1	12,50	A	N2	10,58	A	N3	9,58	A	11	40,52
<b>Profundidad de raíces (**)</b>	N3	11,33	A	N2	10,12	B	N1	9,63	B	10,36cm	5,40
<b>Peso de raíces (**)</b>	N3	14,12	A	N2	13,63	B	N1	12,10	B	13,28gr	4,57
<b>Cantidad de raíces (**)</b>	N3	6	A	N2	5	B	N1	5	B	5 escala	9,23
<b>Rendimiento en seco en Kg/Ha(**)</b>	N3	4.568,55	A	N2	3.997,30	B	N1	3.660,34	B	4.075,39	8,33

Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

La respuesta del Nitrógeno, fue muy diferente en las variables: PE; AP; AM; PrR; PeR; CR y para el rendimiento en seco al 14% de humedad. Sin embargo no existió un efecto significativo del Nitrógeno en las variables: DFM; DFM; incidencia de gusano de la mazorca como *Heliothis zea* y *Euxesta eluta*, LM; DM; NPM; NPSM.

De acuerdo con la prueba de Tukey al 5% para PE, se obtuvo un promedio general de 89,63%. Esta variable depende sobre todo de la calidad de la semilla y condiciones de humedad del suelo.

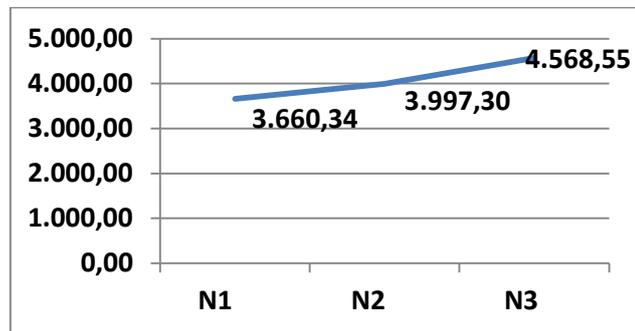
Para las variables, AP; PrR; PeR; CR y Rnto de maíz se presentó una respuesta lineal positiva, es decir a mayor dosis de Nitrógeno, promedios más altos de AP; AM; PrR; PeR; CR y Rnto. Los valores promedios más elevados se registraron en la dosis N3 (120Kg\Ha de N), con 2,68 para AP; 1,28 para AM; para PrR en N3 con 11,33 cm; para PeR en N3 con 14,12 gr; para CR en N3 con 6 medio y para rendimiento 4.568,55kg\Ha de maíz seco al 14% de humedad (Cuadro 2)

Las variables AP; AM y el rendimiento son características varietales y dependen de su interacción genotipo – ambiente, siendo relevantes la temperatura, humedad, y contenido de Nitrógeno en el suelo. El maíz responde a dosis elevadas de Nitrógeno y estos resultados son similares a los reportados por (Monar, C. 2010; Lescado, D. y Horacio, C. 2011; Rivadeneira, M.J. 2012).

El Nitrógeno no influyo en la sanidad de las mazorcas, causada por los insectos *Heliothis zea* y *Euxesta eluta*, ya que la incidencia de estas plagas depende de la variedad y las condiciones climáticas como la temperatura y humedad. Además el control con aceite vegetal en tres aplicaciones fue eficiente.

Quizá no existieron diferencias estadísticas significativas para, LM; DM; NPCH; NPSH, porque estos componente son varietales. Los valores promedios reportados en esta investigación para estos componentes del rendimiento, son similares a los reportados por (Monar, C. 2010; Rivadeneira, M.J. 2012.)

**Gráfico 2: Respuesta de las dosis de Nitrógeno en la variable rendimiento en seco en Kg/Ha al 14% de humedad.**



La Respuesta de las dosis de Nitrógeno en cuanto al rendimiento en seco en Kg/Ha al 14% de humedad, es muy diferente existiendo una respuesta lineal positiva, es decir a mayor dosis de Nitrógeno mayores rendimientos.

### 4.3. INTERACCIONES DE FACTORES A X B.

**Cuadro 3.** Respuesta de los promedios de Tukey al 5% para comparar los promedios de tratamientos en las variables: Porcentaje de emergencia (PE), Altura de mazorca (AM), Días a la floración masculina (DFM), Rendimiento en seco en Kg/Ha al 14 % de humedad (Rnt).

Componentes del Rnt	INTERACCION A x B												Media general	C.V %
<b>Porcentaje de emergencia (**)</b>	T10 95 A	T4 94,67 A	T5 92 AB	T3 91,33 ABC	T9 89,67 BCD	T1 89,33 BCD	T8 89 BCD	T12 88,67 BCD	T11 87,67 CD	T7 87,33 CD	T6 86,67 D	T2 86,67 D	89,83%	1,50
<b>Altura de mazorca (**)</b>	T12 1,45 A	T7 1,43 AB	T10 1,33 ABC	T11 1,31 ABCD	T6 1,30 ABCD	T8 1,29 ABCD	T4 1,28 ABCD	T3 1,15 BCDE	T9 1,05 CDE	T1 1,03 CDE	T2 1,02 DE	T5 0,88 E	1,21m	8,30
<b>Días a la floración masculina (**)</b>	T1 132,33 A	T11 130,33 AB	T5 129,67 AB	T2 129,33 AB	T12 129,00 AB	T9 129 AB	T8 128,88 B	T7 127,67 BC	T6 127,67 BC	T3 127,33 BC	T4 127 BC	T10 124 C	128 días	1,03
<b>Profundidad de raíces (**)</b>	T4 12,07 A	T11 12,33 A	T12 12,30 A	T10 12,30 A	T8 12,20 A	T3 10,50 B	T7 10,30 BC	T6 9,30 BCD	T5 8,67 CD	T9 8,40 DE	T2 8,27 DE	T1 7,40 E	10,36 cm	5,40
<b>Peso de raíces (**)</b>	T10 17,97 A	T4 17,47 AB	T12 16,30 AB	T8 15,78 BC	T7 15,87 BC	T11 14,23 CD	T3 14,17 CD	T6 12,17 DE	T2 12,17 E	T5 10,10 F	T9 7,97 G	T1 4,60 H	13,28 gr	4,57
<b>Cantidad de raíces (**)</b>	T10 7 A	T11 7 A	T4 7 A	T12 7 A	T8 6 AB	T7 6 AB	T6 5 B	T2 5 B	T3 5 B	T1 3 C	T5 3 C	T9 3 C	5 escala	9,23
<b>Rendimiento en seco en Kg/Ha(**)</b>	T8 5.589,90 A	T10 5.513,00 A	T12 5.492,29 A	T4 4.924,40 AB	T11 4.103,48 BC	T7 4.067,49 BC	T2 3.883,57 CD	T3 3.436,5 7 CD	T6 3.336,21 CDE	T9 3.165,42 CDE	T5 2.995,58 DE	T1 2.396,84 E	4.075,39	8,33

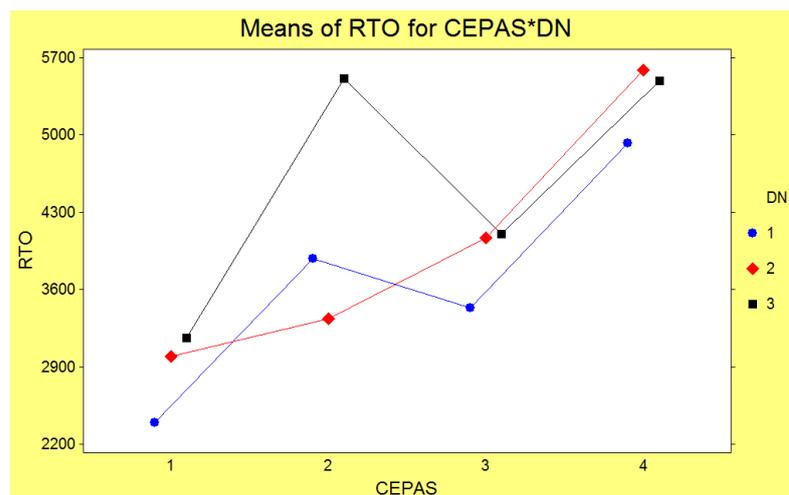
Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

La respuesta de las dosis de Nitrógeno fue muy diferente en las variables: PE; AM; DFM; PrR; PeR; CR y Rnt en seco al 14% de humedad, y dependieron de las cepas de Azospirillum spp.

Con la prueba de Tukey al 5%, el promedio más alto del PE se cuantificó en el tratamiento presentó en T10: C2N3 (Cepa Bolivar+120Kg\Ha de N) con 95%. En el tratamiento T12: C4N3 (Cepa de Chimborazo+120Kg\Ha de N), se registró el promedio más alto de AM con 1,45 m. Para DFM el tratamiento más tardío fue el T1: C1N1 (testigo), con 132,33 días. El tratamiento T4: C4N1 (Cepa Chimborazo+0Kg\Ha de N), se obtuvo el promedio más alto de PrR con 12,37. En el tratamiento T10: C4N1 (Cepa Chimborazo+0Kg\Ha de N) se registró el promedio más alto para PeR con 17,97gr. El tratamiento T10: C4N1 (Cepa Chimborazo+0Kg\Ha de N), se obtuvo el promedio más alto de CR con 7 que según la escala es abundante. Para rendimiento en seco en Kg\Ha al 14 % de humedad el promedio más alto se registró en el T8: C4N2 (Cepa Chimborazo+60Kg\Ha de N), con 5.589,90 Kg\Ha. (Cuadro 3)

Para la rendimiento en seco en Kg\Ha al 14 % de humedad a pesar que existió un efecto lineal para N como efecto principal, sin embargo por la incidencia de las cepas de Azospirillum spp., existió una mayor eficiencia agronómica del N con 120Kg\Ha y con la cepa Chimborazo.

**Grafico 3: Respuesta de la interacción agronómica A x B**



Dónde: **1 (0Kg\Ha N); 2 (60Kg\Ha N); 3 (120Kg\Ha N).**

En esta investigación, vemos claramente que se pueden reducir las dosis de N aplicadas al suelo por la contribución de las cepas de Azospirillum spp., lo cual

hace más sostenible el sistema de producción, se reduce la contaminación del ambiente por pérdidas de N por lixiviación, volatilización (Monar, C. 2013. Comunicación personal).

#### 4.4. VARIABLES BIOLÓGICAS DEL SUELO PARA EL FACTOR A (Cepas de *Azospirillum* spp).

4.4.1. **Cuadro 4.** Respuesta de los promedios de Tukey al 5% para comparar los promedios de tratamientos en las variables:

Población de *Azospirillum* spp inicio, intermedio, y en la cosecha en seco, profundidad de raíces, peso de raíces, cantidad de raíces.

COMPONENTES DEL RNT	Factor A ( Cepas de <i>Azospirillum</i> spp)				Promedio general	CV%
<b>P. <i>Azospirillum</i> spp inicio</b>	R1 300 UFC/gss	R2 300 UFC/gss	R3 300 UFC/gss		300 UFC/gss	
<b>P. <i>Azospirillum</i> spp intermedio (**)</b>	C2 39.371,11 A	C4 34.212,22 B	C1 10.214,44 C	C3 3.713,33 D	21.877,77 UFC/gss	0,08
<b>P. <i>Azospirillum</i> spp cosecha seco (**)</b>	C4 296,67 A	C2 296,67 A	C1 296,67 A	C3 193,33 B	270,83 UFC/gss	6,07

Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

Primeramente debemos tener en cuenta que la determinación de la población de *Azospirillum* spp. Se realizó en tres etapas diferentes del ciclo del cultivo como son: Población de *Azospirillum* spp., al inicio del ensayo en donde se tomó tres muestras de suelo de todo el ensayo. Población de *Azospirillum* spp., al intermedio. Población *Azospirillum* spp., a la cosecha en seco, para posteriormente realizar el cuadro de crecimiento de *Azospirillum* spp.

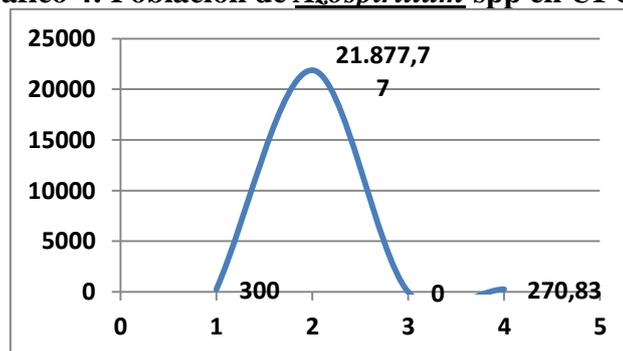
La población de *Azospirillum* spp., al inicio del ensayo se obtuvo un promedio general de 300 UFC/gss.

La importancia de género *Azospirillum* spp. Radica en su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas y aumentar el rendimiento de los cultivos (cereales) esto se debe gracias a su capacidad de fijadoras de nitrógeno atmosférico, producción de fitohormonas y su capacidad para adherirse a cualquier sistema de raíces (Bashan y Holguin, 1997).

**Cuadro 5.** Curva de crecimiento de *Azospirillum* spp.

Fases del desarrollo	Población de <u><i>Azospirillum</i> spp.</u> en UFC/ggs
Inicio del ensayo	300
Intermedio del ensayo	21,877.77
Cosecha en seco	270.83

**Gráfico 4:** Población de *Azospirillum* spp. en UFC\ggs



La curva del crecimiento bacteriano resulta de la representación gráfica de la determinación periódica del número de células viables por mililitro que existen en un líquido inoculado con células microbianas provenientes de un cultivo que ha crecido previamente hasta la saturación. Para poder explicar los resultados

obtenidos hay que tener muy en cuenta el crecimiento bacteriano el cual consta de tres fases:

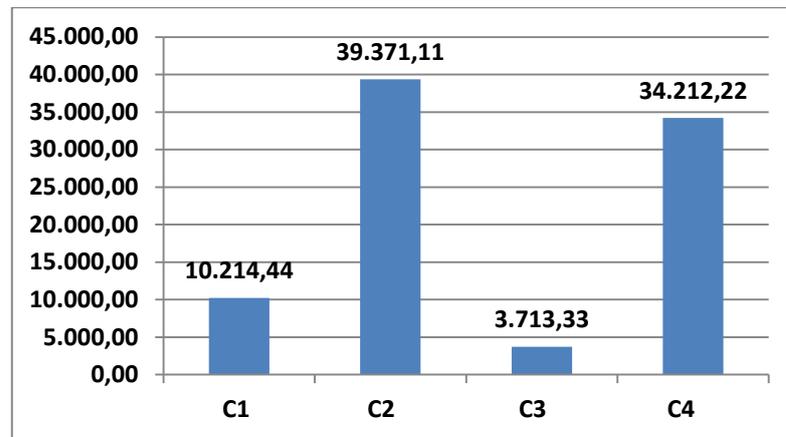
La primera fase hace referencia a la adaptación de una población bacteriana a un nuevo ambiente con elevada concentración de nutrientes para su crecimiento. La segunda fase de crecimiento se denomina fase exponencial, aquí se caracteriza por el [crecimiento exponencial](#) de las células. La velocidad de crecimiento durante esta fase se conoce como la tasa de crecimiento **k** y el tiempo que tarda cada célula en dividirse como el tiempo de generación **g**. Durante esta fase, los nutrientes son metabolizados a la máxima velocidad posible, hasta que dichos nutrientes se agoten, dando paso a la siguiente fase.

La última fase se denomina fase estacionaria y se produce como consecuencia del agotamiento de los nutrientes en el medio. Aquí las células reducen drásticamente su actividad metabólica y comienzan a utilizar como fuente energética aquellas proteínas celulares no esenciales. La fase estacionaria es un período de transición desde el rápido crecimiento a un estado de respuesta a [estrés](#), en el cual se activa la expresión de genes involucrados en la [reparación del ADN](#), en el metabolismo [antioxidante](#) y en el [transporte de nutrientes](#) (Martin, A. 1980).

Al realizar Tukey al 5%, (Cuadro 5). Para la variable Población de *Azospirillum spp*, al intermedio se determinó, que la respuesta de las bacterias de *Azospirillum spp*, es muy diferente se obtuvo un promedio general de 21.877,77 UFC/gss y un coeficiente de variación de 0,08 % Esto nos dice que las bacterias de *Azospirillum spp* si influyeron en el población de las mismas.

Con la prueba de Tukey al 5 % los valores promedios más elevados en esta variable población de *Azospirillum spp*, al intermedio del ensayo, presento el promedio más en C2 (Cepa2 Bolívar) con 39.371,11 UCF/gss. A la cosecha en seco los promedios más altos son para el C2, C4, y testigo con 296,67 UCF/gss. Con estos resultados se observó un incremento altamente significativo en la poblacional de *Azospirillum spp*, atribuyéndose este incremento a la acción de las cepas de *Azospirillum spp*, ya que un incremento poblacional de estas bacterias permiten una mayor colonización de *Azospirillum spp*, en la superficie de la raíz; mayor población local del género (Bernal, G. et. al. 2002).

**Grafico 5: Respuesta de las cepas de *Azospirillum* spp, para la variable población de *Azospirillum* spp, al intermedio del ensayo.**



Para poder determinar la población de *Azospirillum* spp, a lo largo del cultivo se tuvo que realizar el aislamiento de esta bacteria; el cuál, resulta en lo general muy simple, ya sea a partir de suelo rizosférico o de la superficie de las raíces (rizoplano) de numerosas plantas hospederas. También se lo puede aislar del interior de las raíces o tallos de algunas plantas.

El medio de cultivo usado para el aislamiento de las especies de *Azospirillum* spp. Es el NFB (nitrogen fixation biological), semigelificado, libre de nitrógeno y con malato como fuente de carbono. En este medio de cultivo son aisladas predominantemente las diferentes cepas (Caballero, J. 1998). Finalmente, con la Tabla de Mc Crady, (Anexo 3.4) se logró establecer el número más probable (NMP) de *Azospirillum* spp, por gramo de suelo (Pereyra, M. 2001).

#### 4.4.2. VARIABLES BIOLÓGICAS PARA EL FACTOR B (DOSIS DE NITRÓGENO).

**Cuadro 6.** Prueba de Tukey al 5 % para las variables: población de *Azospirillum* spp inicio, intermedio, y a la cosecha en seco. Profundidad de raíces. Peso de raíces. Cantidad de raíces.

Componentes del RNT	FACTOR B			Promedio general	CV %
<b>P. <i>Azospirillum</i> spp inicio</b>	R1 300 UFC\gss	R2 300 UFC\ gss	R3 300 UFC\gss	300 UFC\gss	
<b>P. <i>Azospirillum</i> spp intermedio (**)</b>	N1 30.790 A	N2 29.605 B	N3 28,429 C	29.605 UFC\gss	18,3
<b>P. <i>Azospirillum</i> spp cosecha seco (**)</b>	N3 297,50 A	N2 297,50 A	N1 217,50 B	270,83 UFC\gss	16,7

Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

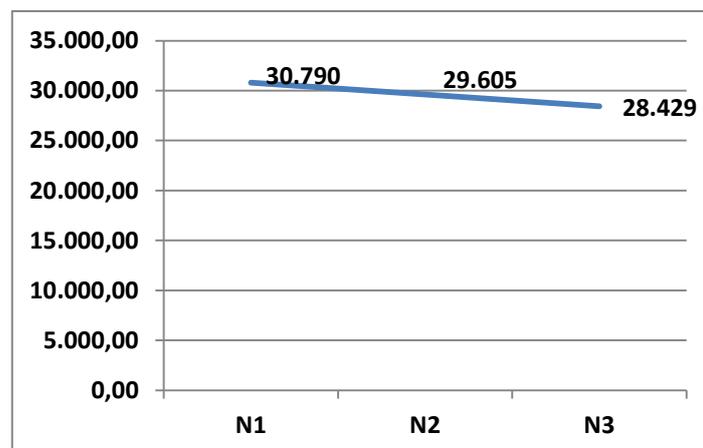
Primeramente debemos tener en cuenta que la fertilización nitrogenada, se realizó en tres momentos a los 45, 90 y 135 días, se utilizó urea como fuente de nitrógeno el cual se aplicó alrededor de la planta, se fraccionó en 143,6 g / parcela para 60 kg / hectárea. 287,1g / parcela en la dosis de 120 kg/ ha.

Para **población de *Azospirillum* spp**, al intermedio se evaluó, que las dosis de nitrógeno fue muy diferente, se obtuvo un promedio general de 29.605 UFC\gss y un coeficiente de variación de 18,3 %.

Para **población de *Azospirillum* spp**, a la cosecha en seco, determinó que las dosis de nitrógeno son muy diferentes, se obtuvo un promedio general de 270,83 UFC\gss y un coeficiente de variación de 16,7 %.

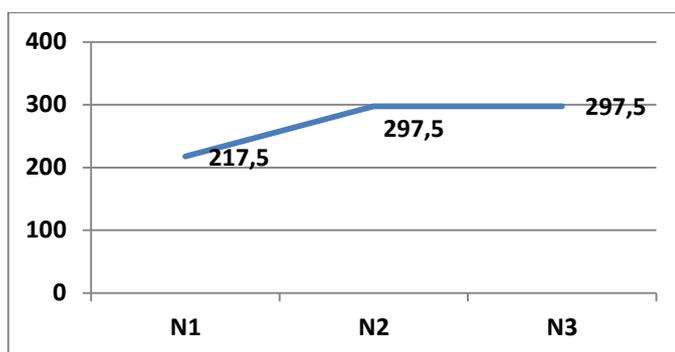
Al intermedio del ensayo, presento el promedio más alto el N1 (0kg\Ha de N) con 30.790,00 UCF/gss y el menor promedio se presentó en N3 (60Kg\Ha de N) con 28.429 UFC\ggs.

**Grafico 6: Respuesta de las dosis de nitrógeno para la variable la población de *Azospirillum* spp, al intermedio.**



A la cosecha en seco los promedios más altos son para el N2 con un promedio de 297,50 UFC\gss y N3 con un promedio de 297,50 UFC\gss. Con estos resultados se observó un incremento altamente significativo en la poblacional de ***Azospirillum* spp**, atribuyéndose este incremento de las dosis de nitrógeno ya que un incremento poblacional de estas bacterias permiten una mayor colonización de ***Azospirillum* spp**, en la superficie de la raíz; mayor población local del género (Bernal, G. et. al. 2002).

**Grafico 7: Respuesta de las dosis de Nitrógeno para la variable la población de Azospirillum spp, a la cosecha en seco.**



#### 4.4.3. INTERACCIONES BIOLÓGICAS.

**Cuadro 7: INTERACCIONES BIOLÓGICAS A x B (cepas de Azospirillum spp, x dosis de Nitrógeno).**

COMPONENTES DEL RNT	INTERACCIÓN A X B												Promedio general	C V
	T4	T10	T2	T5	T9	T8	T11	T1	T3	T7	T6	T12		
<b>P.</b> <b><u>Azospirillum</u></b> <b>intermedio</b> <b>(**)</b>	95.056, 67 A	95.040, 00 A	20.033, 33 B	15.050, 00 C	11.060, 00 D	4.543, 33 E	4.543, 33 E	4.533, 33 E	3.536, 67 F	3.060, 00 G	3.040, 00 G	3.036, 67 G	21.877, 77 UFC\g ss	18, 3
<b>P.</b> <b><u>Azospirillum</u></b> <b>cosecha en</b> <b>seco (**)</b>	450 A	450 A	450 A	300 B	300 B	300 B	300 B	140 C	140 C	140 C	140 C	140 C	270,83 UFC\g ss	16, 7

Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

Al realizar el Tukey al 5%, (Cuadro 7). Para la variable **P. Azospirillum al intermedio** se observó, que la respuesta de las cepas de **Azospirillum spp**, fue muy diferente y dependieron de las dosis del Nitrógeno, se obtuvo un promedio general 21.877,77 UFC\gss y un coeficiente de variación de 0,08 %.

Con la prueba de Tukey al 5 % el promedio más alto de determinación de la **Población Azospirillum spp al intermedio** se evaluó en el T4: C4N1 (cepa Chimborazo+0Kg\Ha de N) con 95.056,67 UFC\gss y el menor promedio se registró en el T12 C4N3 (cepa Chimborazo+ 120Kg\Ha de N) con 3.036,67 UFC\gss.

Al realizar la prueba de Tukey al 5%, (Cuadro 7). Para la variable **Población Azospirillum spp a la cosecha** se observó, que la respuesta de las cepas de **Azospirillum spp**, fue muy diferente y dependió de las dosis de Nitrógeno, se obtuvo un promedio general 270,83 UFC\gss y un coeficiente de variación de 6,07 %.

Con la prueba de Tukey al 5 % el promedio más alto de determinación de la **Población Azospirillum spp a la cosecha** se evaluó en el T4: C4N1 (cepa Chimborazo+0Kg\Ha de N) con 450 UFC\gss y el menor promedio se registró en el T3: C3N1 (cepa Tungurahua+0Kg\Ha de N) con 140 UFC\gss.

## 4.5. VARIABLES DE FÍSICA DE SUELO

### 4.5.1. Determinación de la textura y densidad aparente del suelo

**Cuadro 8:** Textura y densidad aparente del suelo

<b>ANÁLISIS DEL SUELO AL INICIO DEL ENSAYO</b>				
<b>Textura del suelo</b>	<b>Arena</b>	<b>Limo</b>	<b>Arcilla</b>	<b>Tipo de suelo</b>
	39%	34%	27%	Franco-Arcilloso
<b>Densidad aparente</b>	1.1 g/ml			

Fuente: INIAP. 2011

Mediante la muestra de suelo tomada al inicio del ensayo y procesada por el Laboratorio de Suelos y Aguas del INIAP - Estación Experimental Santa Catalina, se pudo determinar la textura del suelo de la localidad en estudio, tomando en cuenta que la textura recibe su nombre de acuerdo al agregado que predomine en el suelo tenemos para la localidad de Laguacoto III, Lote C2 la distribución de los agregados de la siguiente manera: Arena ( 39% ), Limo ( 34% ), Arcilla ( 27% ) (Cuadro 8) lo que nos da como resultado un suelo Franco-Arcilloso (Far); el cuál es característico por poseer buenas propiedades químicas, pero propiedades físicas de difícil manejo. Además, de ser poco permeables, duros para trabajarlos, se encharcan fácilmente y afectan los cultivos por falta de aire. Sin embargo, mediante un buen manejo de materia orgánica pueden mejorar sus condiciones físicas y mejorar el contenido de nutrientes. (<http://www.relacionesestables/medios/biblioteca/serieactas/NR25546>.)

De la misma manera mediante el análisis de suelo realizado al inicio del ensayo se pudo determinar una densidad aparente del suelo de 1.1 g/ml, (Cuadro 8) lo cual, depende de las partículas de suelo, la cantidad de materia orgánica, la compactación del suelo, las actividades de animales que excavan en la tierra, tales como las lombrices, y la abundancia de raíces de plantas. A más de que, la densidad aparente de un suelo se suele utilizar como medida de la estructura del suelo; es decir, una densidad baja, generalmente, equivale a más porosidad y mayores agregados del suelo lo que corresponde a mayor estabilidad, menos

compactación y probablemente mayor contenido de humedad que un suelo con una densidad mayor.

(<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Reaccion%20del%20suelo.>)

#### **4.5.2. Profundidad del suelo**

Tomando en cuenta que el perfil del suelo está formado por diferentes capas, las cuales varían en su espesor, profundidad, color, estructura y textura diferenciando de esta manera una capa de otra y que la profundidad del suelo está relacionada por el espesor de su capa arable (horizonte A). Al inicio del ensayo se realizó una calicata de 60 cm del ensayo total y con la ayuda de un flexómetro se procedió a medir la capa arable obteniendo una profundidad de 45 cm, considerándose a este como un suelo medianamente profundo.

(<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Reaccion%20del%20suelo.>)

## 4.6. VARIABLES QUÍMICAS DEL SUELOS

### 4.6.1. Macro y micro nutrientes, nitrógeno en forma de $\text{NH}_4^+$ , pH y Materia Orgánica del suelo.

Mediante el análisis de suelo tomada al inicio (Anexo 3.1) del ensayo y procesada por el Laboratorio de Suelos y Aguas del INIAP-Estación Experimental Santa Catalina, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Cuadro 9:** Macro nutrientes al inicio del ensayo.

NUTRIENTE	UNIDAD	VALOR
$\text{NH}_4^+$	Ppm	27 (M)
<b>P</b>	Ppm	14.00 (M)
<b>S</b>	Ppm	13.5 (M)

M: Contenido medio.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el análisis de suelo realizado al inicio del ensayo, se puede observar en el (Cuadro 9, Anexo 3.1), en cuanto a los macro nutrientes el contenido de  $\text{NH}_4^+$  fue 27 ppm, que según la escala de evaluación de contenido de  $\text{NH}_4^+$  lo clasifica como un suelo mediano en el contenido de  $\text{NH}_4^+$ .

En cuanto al Fósforo (P), también podemos observar al inicio del ensayo 14.00 ppm, según la escala de evaluación de contenido de fósforo, lo clasifica como un suelo mediano en el contenido de fósforo. Durante todo el ciclo del cultivo ha permitido una buena producción de energía, buen crecimiento de las plantas, favoreciendo la formación de raíces fuertes y abundantes y participando de manera indispensable para la formación de las semillas. Finalmente el Azufre (S) al inicio presentó 13.5 ppm, que según la escala de evaluación de contenido de azufre, lo clasifica como un suelo mediano en el contenido de azufre. El azufre es un constituyente básico de las proteínas, además es un catalizador que favorece la fijación bacteriana del N (Cuadro 9, Anexo 3.1). (<http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/12hoja.html>).

**Cuadro 10:** Micronutrientes al inicio del ensayo.

<b>NUTRIENTE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>Zn</b>	Ppm	3,2 (M)
<b>Cu</b>	Ppm	16.8 (A)
<b>Fe</b>	Ppm	186 (A)
<b>Mn</b>	Ppm	10.8 (M)
<b>B</b>	Ppm	1.3 (M)

A: Contenido Alto. M: Contenido medio.

En cuanto a los micronutrientes según los análisis de suelo realizados al inicio (Cuadro 10, Anexo 3.1), se pudo determinar que el Zn está en 3.2 ppm, que según la escala de evaluación de contenido de Zn lo clasifica como un suelo mediano en el contenido de Zn.

En cuanto al Cu está en 16.8 ppm, que según la escala de evaluación de contenido de Cu, lo clasifica como un suelo alto en el contenido de Cu.

En lo referente al Fe se encuentra en una cantidad de 186 ppm, que según la escala de evaluación de contenido de Fe, lo clasifica como un suelo alto en el contenido de Fe.

El Magnesio (Mn) se encuentra en una cantidad de 10.8 ppm, que según la escala de evaluación de contenido de Mn lo clasifica como un suelo mediano en el contenido de Mg.

El contenido Boro (B) se encuentra en 1.3 ppm, que según la escala de evaluación de contenido de B lo clasifica como un suelo mediano en el contenido de B, mismo porque es muy importante porque ayuda a la formación de nódulos en las raíces, permitiendo de esta manera que algunas bacterias nitrificantes como en este caso lo es ***Azospirillum spp***, fije el nitrógeno del aire y lo convierta en nitrógeno asimilable para las plantas (Parsons, D. 1998).

**Cuadro 11.** pH y Materia Orgánica del suelo al inicio del ensayo.

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>
<b>Ph</b>	6.44 (ligeramente ácido)
<b>Materia Orgánica</b>	4.3% (M)

Fuente: INIAP. 2011

Finalmente según los resultados obtenidos del análisis del suelo al inicio del ensayo (Cuadro 11, Anexo 3.1), se determinó el contenido de Materia Orgánica, (M.O) en 4.3% (Medio). La materia orgánica es un parámetro que está relacionado directamente con la calidad edáfica, pero esto depende del manejo del suelo. En donde, su contenido interviene en la estructura del horizonte, ayuda a formar los complejos arcillo-húmicos del suelo, mejora la capacidad de infiltración del agua en suelos arcillosos y aumenta la capacidad de retención en los suelos arenosos y determina la disponibilidad de nutrientes, influyendo por tanto positivamente en la productividad del suelo. El pH 6.44 al inicio del ensayo catalogándose aún como un suelo ligeramente ácido. (Suquilanda, M. 2006).

La M.O. y el pH son dos indicadores de la calidad física, química y biológica del suelo. El conservar e incorporar los restos vegetales, ayuda a mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Monar, C. 2013. Comunicación personal).

#### **4.5.4. Bases Calcio (Ca), Manganeso (Mg), Potasio (K) al inicio del ensayo.**

**Cuadro 12:**

<b>BASES</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>Ca</b>	meq/100ml	12.5
<b>Mg</b>	meq/100ml	2.9
<b>K</b>	meq/100ml	0.51

Fuente: INIAP. 2011

En lo referente al (Ca) mediante el análisis de suelo realizados por el Laboratorio de Suelos y Aguas del INIAP (EESC) (Cuadro 12 ; Anexos 3.1) se determinó 12.5 meq/100 ml, en el (Mg) 2,9 meq/100 ml y en el (K) 0.51 meq/100 ml, que según la escala de evaluación de contenido de Ca, Mg, K, lo clasifica como un suelo alto en el contenido de Ca, Mg, K. El (Ca) intercambiable es el catión

mayoritario entre las bases intercambiables, su contenido depende del material parental y del contenido de arcilla y materia orgánica del suelo. Este elemento contribuye en el crecimiento del sistema radicular y del tallo, además el (Ca) es un constituyente de la pared celular (función estructural), regula la permeabilidad de las membranas. Es esencial para la elongación de las células en los puntos de crecimiento y cumple funciones osmóticas.

El (Mg), está relacionado con la formación de aceites y grasas a más de ser el principal elemento en la conformación de la clorofila siendo de esta manera fundamental en la fotosíntesis y dando el color verde a las hojas.

El (K) es considerado uno de los nutrientes primarios que ayuda a regular el contenido de agua por las plantas haciéndolas más resistentes a las sequías a más de ayudar en la formación de azúcares, almidones y aceites en las plantas. ([http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/EEF13C22C2433D9186256A79005219DA/\\$file/IA+COM+4-3](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/EEF13C22C2433D9186256A79005219DA/$file/IA+COM+4-3)).

Los contenidos de cationes en suelos naturales dependen fundamentalmente del material de origen y de los procesos de meteorización y lixiviación. Los minerales primarios y secundarios son fuentes de cationes para las plantas en el largo plazo, las fuentes para las plantas en el corto plazo son cationes intercambiables y en la solución del suelo, si bien estos cationes se encuentran en forma hidratada, en general nos referimos a ellos como iones:  $Ca^{2+}$ ;  $Mg^{2+}$ ;  $K^+$ ;  $Na^+$  (<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Reaccion%20del%20suelo>).

#### 4.5.5. Determinación del Nitrógeno $NH_4^+$ y $NO_3^-$ del suelo al final del ensayo.

**Cuadro 13: Resultados del contenido de  $NH_4^+$  y  $NO_3^-$  del suelo al final.**

	Factor A ( Cepas de <i>Azospirillum</i> spp)				Promedio general	CV%
<b><math>NH_4^+</math> (ns)</b>	C4 44,78 A	C3 36,56 A	C1 34,22 A	C2 31,89 A	38,6 ppm	28,01
<b><math>NO_3^-</math> (* )</b>	C4 39,81 A	C3 28,29 AB	C2 19,06 AB	C1 7,70 B	23,71 ppm	82,19

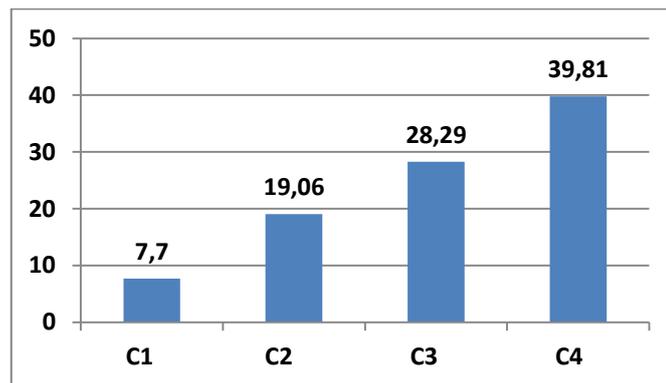
Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

Al realizar la prueba de Tukey al 5%, (Cuadro 13, Anexo 3.2) para las variables: contenido de  $\text{NH}_4^+$  del suelo en ppm, no se registró significancias estadísticas, es decir hubo una respuesta similar de las cepas de *Azospirillum* spp, se calculó un promedio general de 36,8ppm de  $\text{NH}_4^+$  y un coeficiente de variación de 28,01 %.

Con la prueba de Tukey al 5 % los valores promedios más elevados en esta variable se calcularon para C4 (cepa de Chimborazo) con 44,78 ppm de  $\text{NH}_4^+$ ; el menor promedio se registró en C2 (testigo) con 31,89 ppm de  $\text{NH}_4^+$ . Sin embargo se observa en el mismo cuadro que todas las cepas de *Azospirillum* spp, tienen el mismo rango de significancia. Al realizar Tukey al 5% encontramos que en la variable determinación de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo fue diferente, es decir que se determinó que las bacterias de (*Azospirillum* spp), influyeron en la variable analizada. Se calculó un promedio general de 23,71 ppm de  $\text{NO}_3^-$  y un coeficiente de variación de 82,19 %. (Cuadro 13).

Con la prueba de Tukey al 5 % los valores promedios más elevados en esta variable se calcularon para C4 (cepa de Chimborazo) con 39,81 ppm de  $\text{NO}_3^-$  y el menor promedio en C1 (testigo) con 7,70 ppm de  $\text{NO}_3^-$ .

**Grafico 8: Respuesta de las cepas de *Azospirillum* spp, para la variable determinación del nitrógeno  $\text{NO}_3^-$  del suelo.**



La mayor parte del (N) del suelo se encuentra en formas orgánicas y presumiblemente se ha acumulado a partir de la forma elemental de la atmósfera por distintos procesos de fijación, de los cuales el más importante es de naturaleza biológica. Por otro lado, el desarrollo de los cultivos está limitado, más a menudo, por la insuficiencia de nitrógeno que por la de cualquier otro nutriente. La capa

arable de la mayoría de los suelos cultivados contiene entre 0,02 y 0.4 % de nitrógeno total. Este elemento aparece en forma inorgánica como óxido nitroso ( $N_2O$ ), óxido nítrico ( $NO$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2^-$ ), amoníaco ( $NH_3^-$ ) y en formas iónicas como amonio ( $NH_4^+$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ) y nitratos ( $N-NO_3^-$ ), en donde los nitratos aparecen casi exclusivamente como iones libremente difusibles en el suelo y la mayor parte de amonio aparece en formas cambiables y no cambiables, solo una pequeña parte se encuentra en forma iónica en la solución del suelo ( Domínguez, A. 1967).

**Cuadro 14: Determinación del nitrógeno  $NH_4^+$  y  $NO_3^-$  del suelo al final.**

	FACTOR B ( DOSIS DE NITROGENO)			Promedio general	CV%
$NH_4^+$ (ns)	N1 37,58	N2 37,58	N3 35,67	36,8 ppm	28,01
	A	A	A		
$NO_3^-$ (ns)	N2 29,80	N3 23,81	N1 17,53	23,71 ppm	82,19
	A	A	A		

Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

Al realizar el Tukey al 5%, (Cuadro 14), para las variables: Contenido de  $NH_4^+$  del suelo en ppm, no se registró significancias estadísticas, es decir que se determinó que la respuesta de las dosis de nitrógeno no influyeron en el contenido de  $NH_4^+$ . Sin embargo se presentan promedios generales de 36.8 ppm de  $NH_4^+$  en el suelo y un coeficiente de variación de 28,01 %.

Con la prueba de Tukey al 5 % los valores promedios más elevados en esta variable se calcularon para N1 (testigo) con 37,58 ppm y en N2 (60Kg\Ha de N) con 37,58 de  $NH_4^+$ ; el menor promedio se registró en N3 (120Kg\Ha de N) con 35,67 ppm de  $NH_4^+$ . Sin embargo se observa en el mismo cuadro que todas las dosis de nitrógeno tienen el mismo rango de significancia.

Al realizar Tukey al 5%, (Cuadro 14), para las variables: Contenido de  $NO_3^-$  del suelo en ppm, no se registró significancias estadísticas, es decir que se determinó que la respuesta de las dosis de nitrógeno, no influyeron en el contenido de  $NO_3^-$ . Sin embargo se presentan promedios generales de 23,71 ppm de  $NO_3^-$  en el suelo y un coeficiente de variación de 82,19 %.

Con la prueba de Tukey al 5 % los valores promedios más elevados en esta variable se calcularon para N2 (60Kg\Ha de N) con 29,80 ppm de  $NO_3^-$ , el menor

promedio en N1 (Testigo) con 17,53 ppm de  $\text{NO}_3^-$ . Sin embargo se observa en el mismo cuadro que todas las dosis de nitrógeno tienen el mismo rango de significancia.

La importancia del  $\text{N-NO}_3^-$  (nitratos) y  $\text{NH}_4^+$  (amonio) radica en que son las formas en que las raíces de las plantas absorben (N), estos compuestos resultan de una serie compleja de reacciones bioquímicas con un alto costo energético (Ciclo del nitrógeno) (Pereyra, M. 2001).

Las plantas pueden utilizar ambas formas de absorción (amonio o nitratos), aunque algunas presenten una ligera preferencia por una u otra forma; es decir, que el consumo del (N) sea principalmente como forma de amonio o nitrato depende principalmente del medio que condiciona la existencia relativa de ambos (Dominguez, A. 1967).

#### 4.5.6. Extracción de Nitrógeno de la Planta. (ENP)

**Cuadro 15: Extracción de Nitrógeno de la planta para el Factor A.**

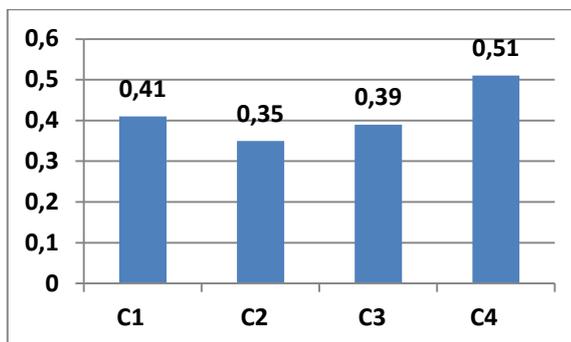
Variable	Factor A ( Cepas de <i>Azospirillum spp</i> )				Promedio general	CV%
<b>ENP (*)</b>	C4 0,51 A	C1 0,41 AB	C3 0,39 AB	C2 0,35 B	0,41%	23,48

Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

Al realizar la prueba de Tukey al 5%, (Cuadro 15 Anexo 3.3). Para la variable **Extracción de nitrógeno de la planta** se observó, que la respuesta de las cepas de *Azospirillum spp* fue diferente, es decir que la extracción de nitrógeno de la planta dependió de las cepas de *Azospirillum spp*. Se obtuvo un promedio general de 0,41% y un coeficiente de variación de 23,48 %.

Con la prueba de Tukey al 5 %, el promedio más alto de extracción de nitrógeno de la planta, se evaluó en la cepa C4 (cepa- Chimborazo) con 0,51% y el menor promedio en C2 (cepa de Bolívar) con 0,35% de ENP.

**Grafico 9: Respuesta de las cepas de *Azospirillum* spp, para la variable extracción de nitrógeno de la planta.**



Las cepas C4 (cepa Chimborazo), quizás presentó una mejor adaptabilidad al ambiente rizosférico, logrando una mayor población de UFC/ggs y por ende mayores incrementos en el contenido de nitrógeno total de las plantas inoculadas respecto a las no inoculadas. Además el AIA producido por las bacterias puede modificar el contenido de fitohormonas de las plantas conduciendo a la estimulación del crecimiento de las mismas (Thuler, D. et, al. 2003).

**Cuadro 16: Extracción de Nitrógeno de la planta para el factor B (dosis N).**

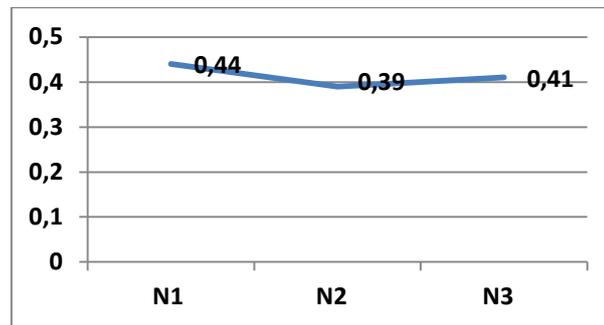
	FACTOR B ( DOSIS DE NITROGENO)			Promedio general	CV%
	N1 0,44 A	N3 0,41 A	N2 0,39 A		
<b>ENP (ns)</b>				0,41%	23,48

Promedios con distintas letras, son estadísticamente diferentes al 5 %.

Al realizar Tukey al 5%, (Cuadro 16. Anexo 3.3). Para la variable **Extracción de nitrógeno de la planta** se observó, que no hubo diferencias significativas para dosis de nitrógeno; es decir que la extracción de nitrógeno de la planta no dependió de las dosis de nitrógeno. Se obtuvo un promedio general de 0,41 % y un coeficiente de variación de 23,48 %.

Numéricamente el valor promedio más alto de extracción de nitrógeno de la planta, se evaluó en la dosis N1 (testigo) con 0,44 % y el menor promedio N2 (60KgN\Ha) con 0,39 %. Estas diferencias pudieron darse al azar y cuando hay estrés de sequía, la mayor eficiencia del N, puede darse en el testigo, pues al aplicar N, éste puede perderse por volatilización.

**Grafico 10: Respuesta de las dosis de Nitrógeno para la variable extracción de nitrógeno de la planta.**

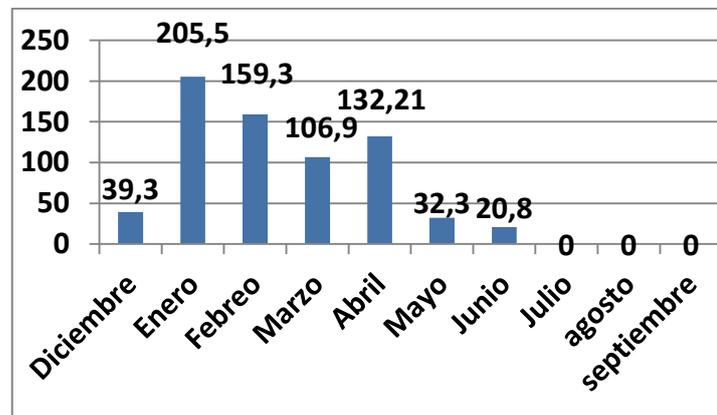


Por tal razón, y al conocer las etapas fisiológicas de mayor sensibilidad al estrés por falta de (N) en el maíz variedad INIAP-111 (Guagal Mejorado), es necesario fraccionar la aplicación de este nutriente para mejorar la eficiencia de la utilización y alcanzar altos rendimientos del cultivo. Finalmente, un manejo adecuado de los residuos de cosecha es una buena aportación de nutrientes para el cultivo (INAP. 2007).

#### 4.6. Información climática

##### 4.6.1 Cantidad y distribución de la precipitación en mm.

La cantidad de lluvia registrada durante todo el ciclo del cultivo fue de 696.31 mm.



#### 4.7. Análisis de correlación y regresión

Resultados del análisis de correlación y de regresión de las variables independientes (Componentes del rendimiento - Xj) que tuvieron una relación y asociación significativa (positiva) sobre el rendimiento (Variable dependiente - Y).

**Cuadro 17:** Análisis de correlación y regresión.

<b>Variables independientes o componentes del rendimiento (Xs)</b>	<b>Coefficiente de correlación (r)</b>	<b>Coefficiente de regresión (b)</b>	<b>Coefficiente de determinación (R<sup>2</sup>)</b>
Altura de planta	0,661**	2605,7**	44%
Altura de inserción de mazorca	0,647**	3700,2**	42%
Longitud de mazorca	0,587**	102,67**	34%
Diámetro de mazorca	0,319*	271,74*	10%
Plantas con mazorca	0,763**	115,82**	58%
Población de <u><i>Azospirillum</i></u> spp, al intermedio	0,435*	141,47*	19%
Profundidad de raíces	0,820**	471,45**	67%
Peso de raíces	0,818**	226,60**	67%
Cantidad de raíces	0,830**	559,29**	69%
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,417*	19,181*	17%

\*: Significativo al 5%      \*\*: Altamente significativo al 5%

#### **4.7.1. Coeficiente de correlación (r)**

El valor máximo del coeficiente de correlación (r) es  $\pm 1$  y no tiene unidades (Beaver, J, 1900, citado por Monar, C. 1992). Se calcularon relaciones significativas y altamente significativas entre las variables independientes, AP; AM; LM; Plantas con mazorca; Población de *Azospirillum* spp; profundidad de raíces; peso de raíces; cantidad de raíces y contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> versus el rendimiento de maíz en seco en Kg\Ha. (Cuadro 17)

#### **4.7.2. Coeficiente de regresión (b)**

Se tuvieron cambios significativos y altamente significativos en la variable dependiente (Y). Rendimiento en seco por cada cambio único de los componentes del rendimiento los componentes que tuvieron una asociación positiva fueron: altura de planta, altura de inserción de mazorca, longitud de mazorca diámetro de mazorca, plantas con choclo, población de *Azospirillum* spp, profundidad de raíces, peso de raíces, cantidad de raíces, y nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Es decir valores promedios más altos de estas variables, significan mayor rendimiento de maíz en seco en Kg/Ha. (Cuadro 17).

#### 4.7.3. Coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>)

El R<sup>2</sup>, es un estadístico que explica el porcentaje de asociación o cambio en la variable dependiente (Y) por cada cambio único de los componentes de rendimiento.

Los componentes profundidad de las raíces, peso de raíces y cantidad de raíces, son los que incrementaron en mayor porcentaje el rendimiento con valores de 67 y 69 % respectivamente. (Cuadro 18)

#### 4.8. Eficiencia agronómica del Nitrógeno (N)

Con los datos de rendimiento de grano mediante la siguiente ecuación se calculó la eficiencia agronómica de nutrientes.

$$EfA = \frac{RG T (Opt) - RG T (-N)}{kg Ea (N)}$$

Dónde:

EfA = Eficiencia agronómica.

RGT (Opt) = Rendimiento de grano tratamiento óptimo.

RG T (-N) = Rendimiento de grano tratamiento menos nitrógeno.

Ea = Elemento aplicado.

**Cuadro 18:** Eficiencia agronómica del N.

<b>FACTOR B</b>	<b>RNT en seco Kg/ha</b>	<b>EfA</b>
<b>N1 (0KgN\Ha)</b>	3.660,34	0
<b>N2 (60KgN\Ha)</b>	3.997.30	5.62
<b>N3 (120KgN\Ha)</b>	4.568.55	7.58

La baja eficiencia agronómica del N que se presentó este ensayo, no puede atribuirse completamente a pérdidas de nitrógeno. Si bien no hay muchos datos disponibles, también se lo puede atribuir a que existen limitaciones en la absorción de (N), por parte de las plantas, estando de esta manera lejos de alcanzar valores deseables para un alto retorno económico y una disminución del riesgo ambiental. Además hay que tener en cuenta que a un nivel insuficiente de (N), se disminuye la producción de Materia seca total y se acorta el ciclo del cultivo por la senescencia prematura del follaje, y por otro lado una disponibilidad elevada de (N) retrasa el inicio de la formación de la mazorca reduciendo de esta manera el índice de cosecha y el rendimiento. La eficiencia agronómica expresa los Kg de grano producidos por Kg de (N) aplicado como fertilizante. Este valor

depende de la eficiencia fisiológica del cultivo, de la proporción del (N) disponible que es absorbido por el cultivo y de las pérdidas que ocurran durante el ciclo. Por lo tanto la eficiencia agronómica se ve limitada por factores como la disponibilidad de agua y demás factores ambientales

En esta investigación se cuantifico en el N2 una EFA de 5,62 y en el N3 un valor de 7,58 Kg de grano producido por kg de N aplicado.

**Cuadro 19:** Análisis económico de Maíz en seco al 14% de humedad en Kg/Ha.

VARIABLES	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	10	T11	T12
<b>RNT Kg\Ha</b>	2.396,84	3.883,57	3.436,57	4.924,40	2.995,58	3.336,21	4.067,49	5.589,90	3.165,42	5.513,00	4.103,48	5.492,29
<b>RNT Ajustado al 10 % Kg\Ha</b>	2.157,16	3.048,22	3.092,92	4.431,96	2.696,03	3.002,59	3.660,75	5.030,91	2.848,88	4.961,70	3.693,14	4.943,07
<b>Ingreso Bruto: \$ \Ha</b>	2.372	3.352	3.401	4.874	2.965	3.302	4.026	5.533	3.132	5.457	4.062	5.437
<b>Costos que varían por trata: \$ \Ha</b>												
<b>Urea</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	86,46	86,46	86,46	86,46	172,92	172,92	172,92	172,92
<b><i>Azospirillum</i> spp \$ \Ha</b>	0,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00	0,00	30,00	30,00	30,00
<b>Mano de Obra \$ \Ha</b>	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00	5,00
<b>Sacos \$ \Ha</b>	14,38	20,32	20,62	29,55	17,97	20,02	24,41	33,54	18,99	33,08	24,62	32,95
<b>Total costos que varían \$ \Ha</b>	14,38	55,32	55,62	64,55	104,43	141,48	154,87	155,00	191,91	241,00	232,54	240,87
<b>Total ingreso neto \$ \Ha</b>	2.357	3.296	3.345	4.809	2.860	3.160	3.871	5.378	2.940	5.216	3.829	5.196

#### **4.9. Análisis económico de maíz seco Kg/Ha.**

Se realizó mediante el análisis de presupuesto parcial propuesto por el CIMMYT (1988), para lo cual, una vez obtenido el rendimiento de maíz en Kg /ha al 14 % de humedad, se realizó un ajuste del 10 % con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr. (Cuadro 20)

Este rendimiento ajustado se multiplicó con el valor unitario del producto, para obtener el beneficio bruto, y se establecieron todos los costos que variaron en cada uno de los tratamientos, para luego, calcular el beneficio neto (beneficio bruto – total de costo que variaron en cada tratamiento). Con los beneficios netos y los costos que variaron, se estableció el análisis de dominancia, para lo cual primero se ordenó a los tratamientos de menor a mayor, de acuerdo a los totales de costos que variaron. Se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que variaron, para posteriormente calcular la tasa de retorno marginal.

De acuerdo con información obtenida en los mercados de Guaranda, el precio promedio de un qq de maíz fue de \$50\qq.

El precio del fertilizante inorgánico fue de 33 dólares americanos por saco de Urea.

De acuerdo con información del Programa de Maíz el costo de producción del biofertilizante líquido y sólido fue de 5 dólares americanos por cada funda, que contiene 300 g de biofertilizante (sólido) y 50 ml de biofertilizante (líquido), para 5 kg de semilla de maíz.

Al realizar el análisis de presupuesto parcial, Cuadro 34, se observó que el tratamiento T8: C4N2 (cepa Chimborazo+60KgN\Ha) con 5.378 \$/ha presentó el mayor beneficio neto. Mientras tanto, el tratamiento T1: N1C1 (Testigo) presentó el menor beneficio neto con 2.357 \$/ha.

**Cuadro 20:** Análisis de dominancia en seco.

Tratamiento N°	Total de costos que varían (\$/ha)	Total Beneficios netos (\$/ha)	Dominancia
T1: C1N1	14,38	2357,62	
T2: C1N2	55,32	3296,68	
T3: C1N3	55,62	3345,38	
T4: C2N1	64,55	4809,45	
T5: C2N2	104,43	2860,57	<b>D</b>
T6: C2N3	141,48	3160,52	<b>D</b>
T7: C3N1	145,87	3871,13	<b>D</b>
T8: C3N2	155,00	5378	
T9: C3N3	191,91	2940,09	<b>D</b>
T11: C4N1	232,54	3829,46	<b>D</b>
T12: C4N2	240,87	5196,13	<b>D</b>
T10: C4N3	241,00	5216	<b>D</b>

En el análisis de dominancia el ordenamiento de los tratamientos se realizó en función de los costos que varían, con su correspondiente beneficio neto (\$/ha).

**Cuadro 21:** Análisis Tasa marginal de retorno en seco.

Tratamiento N°	Total Costos que varían (\$/Ha)	Total Beneficios netos (\$/Ha)	Tasa de Retorno Marginal %
T1 (C1N1)	14,38	2.357,62	
			2.395%
T3 (C3N1)	55,62	3.345,38	
			16.395%
T4 (C4N1)	64,55	4.809,45	
			629%
T8 (C4N2)	155	5.378	

Con el análisis de retorno marginal, se evaluó que el mejor tratamiento alcanzado fue para el T4: C4N2 (cepa Chimborazo+0Kg\Ha de N) con una tasa de retorno marginal de 16.39%, pero en cuanto a beneficio neto el mejor tratamiento es el T8: C4N2 (Cepa Chimborazo+ 60Kg\Ha de N), con 5.378 (\$/Ha)

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1. CONCLUSIONES

En base a los análisis estadísticos, agronómicos y económicos, se sintetizan las siguientes conclusiones:

- La mejor cepa fue C4 (cepa Chimborazo) con un rendimiento promedio de 5.378 Kg\Ha de maíz seco al 14% de humedad.
- Para el N, se tuvo una respuesta lineal significativa, por lo tanto numéricamente el rendimiento promedio más alto de 4.568 Kg\ha de N.
- En la interacción de factores el mejor tratamiento fue T8: C4N2 (cepa Chimborazo+60kg\ha de N) con 5.589,90 Kg\Ha de maíz seco.
- Al realizar el análisis de regresión y correlación se pudo determinar que las variables que incrementaron el rendimiento fueron: Altura de Planta; Altura de inserción de mazorca; Longitud de mazorca; Diámetro de mazorca; Plantas con choclo; Población de *Azospirillum spp*, en el suelo; Profundidad de raíces; Peso de raíces; y cantidad de raíces.
- En cuanto a la eficiencia agronómica del N en el cultivo de maíz INIAP-111 Guagal Mejorado se logró determinar que el mejor tratamiento fue el N3 (120Kg\Ha de N) con 7,58% Kg de grano producida por Kg de N aplicado.
- Mediante el análisis económico de presupuesto parcial el tratamiento T4: C4N1 (cepa Chimborazo+0Kg\Ha de N), fue el mejor con una tasa de retorno marginal de 16.395%, pero en cuanto a beneficio neto el mejor tratamiento es el T8: (cepa Chimborazo+60Kg\Ha de N), con 5,37 \$\Ha.
- Finalmente este estudio contribuyo a mejorar la sostenibilidad del sistema de producción de maíz suave a través de mejorar la eficiencia del N, con el usos de cepas de *Azospirillum spp*.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Validar las cepas de *Azospirillum* spp, recolectadas en Bolívar, Tungurahua, Chimborazo para las zonas agroecológicas maiceras de la provincia Bolívar como son Guaranda; San Miguel; San Pablo y Chillanes.
- Para las zonas agroecológica del Lagucoto se recomienda validar dosis inferiores a 80 Kg/Ha de N, en función del análisis químico del suelo aplicada en forma fraccionada en tres aplicaciones: 40, 80 y 110 días después de la siembra, con suelo húmedo e incorporando al suelo.
- La siembra de maíz en la provincia de Bolívar, se recomienda realizar en labranza reducida (únicamente los surcos) separados cada 80 cm y entre plantas sembrar 3 semillas cada 50 cm para posteriormente realizar un raleo a dos plantas/sitio, lo que equivale a una población de 50.000 plantas\ha.
- Para el control de gusanos de la mazorca como *Heliothis zea* y *Euxesta eluta*, a pequeña escala, se recomienda el uso de aceite vegetal aplicada en la floración femenina en tres frecuencias con un gotero en dosis de dos a tres gotas/flor femenina de maíz.
- El uso de cepas de *Azospirillum* spp, es para un modelo de agricultura ecológica, es decir sin la aplicación de plaguicidas sintéticos.

## VI. RESUMEN Y SUMMARY

### 6.1 RESUMEN

A nivel nacional el cultivo de maíz es una fuente de trabajo para miles de ecuatorianos. La producción de maíz se realiza principalmente en terrenos de topografía irregular, donde prevalece el minifundio y en un 86% el sistema de producción es el maíz asociado con frejol voluble de tipo Mixturiado, particularmente en la provincia Bolívar. Mediante estudios realizados por el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA), del INIAP Santa Catalina se ha demostrado que el nitrógeno (N) es el principal elemento limitante de la producción y debido a una baja eficiencia del mismo, el cual se lixivia como Nitratos, se volatiliza como Amonio y  $\text{NO}_2^-$ , dando como efecto la contaminación de acuíferos y del ambiente. Mediante varios experimentos, se logró determinar que gran parte de la contaminación del medio ambiente, ocasionada por los fertilizantes inorgánicos y los daños que causa sobre los seres vivos puede reducirse con la utilización de los biofertilizantes microbianos a base de cepas de ***Azospirillum spp.*** La Provincia Bolívar es la principal productora de maíz suave y siendo el (N) el principal limitante para un buen desarrollo del cultivo, el Programa de Maíz del (INIAP), con la Universidad Estatal de Bolívar, han realizado un proceso de investigación orientada a validar el efecto de tres cepas de ***Azospirillum spp.*** (cepa Bolívar, cepa Chimborazo, cepa Tungurahua) y tres dosis de Nitrógeno en el cultivo de maíz variedad INIAP-111 Guagal Mejorado. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) en arreglo factorial 4 x 3, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos: **i)** Validar la respuesta de las tres cepa de ***Azospirillum spp.*** para la producción de maíz suave. **ii)** Evaluar la respuesta de las tres dosis de N sobre los diferentes componentes del rendimiento de maíz INIAP 111; **iii)** Realizar un análisis económico de presupuesto parcial y tasa marginal de retorno, para determinar el mejor tratamiento y transferir la tecnología a los productores. Existió un efecto significativo de las cepas recolectadas en las provincias de Chimborazo, Bolívar y Tungurahua; siendo la más eficiente en esta investigación la Cepa Chimborazo con 5.335 Kg\ha de

maíz suave. Para el N, se presentó una respuesta lineal, es decir a mayor dosis de N, más rendimiento de maíz. Adicionalmente, se determinó una dependencia de factores entre las cepas de *Azospirillum* spp, y el N, ósea fueron factores dependientes. Sin embargo para la zona agroecológica del Laguacoto, la mejor aplicación en cuanto a beneficio neto es el tratamiento: T8: C4N2 (cepa Chimborazo+ 60 Kg\ha de N). Finalmente este estudio permitió reducir el uso de (N) sintético a 60 KgN\Ha de la dosis más alta, lo que contribuye a la reducción de la contaminación del medio ambiente con una producción en proceso ecológico del maíz seco, contribuyendo a la seguridad alimentaria.

## 6.2. SUMMARY

At national level the cultivation of corn is a working source for thousands of Ecuadorian. The production of corn is carried out mainly in lands of irregular topography, where the small property prevails and in 86% the production system is the corn associated with bean of type Mixturiado, particularly in the Bolívar State. By means of studies carried out by the Department of Handling of soils and Waters (DMSA), of the INIAP Santa Catalina has been demonstrated that the nitrogen (N) you/he/she is the main restrictive element of the production and due to a low efficiency of the same one, which is leached as Nitrates, you volatiliza like Ammonium and  $\text{NO}_2^-$ , giving as effect the contamination of aquifer and of the atmosphere. By means of several experiments, it was possible to determine that great part of the contamination of the environment, caused by the inorganic fertilizers and the damages that it causes on the alive beings can decrease with the use of the microbial biofertilizantes with the help of stubs of *Azospirillum spp.* The County Bolívar is the main producer of soft corn and being the (N) the main obstacle for a good development of the cultivation, the Program of Corn of the (INIAP), with the State University of Bolívar, they have carried out a process of oriented investigation to validate the effect of three stubs of *Azospirillum spp.*, (stubs Bolívar, stubs Chimborazo, stubs Tungurahua) and three dose of Nitrogen in the cultivation of corn variety INIAP-1111. A design of complete blocks was used at random (DBCA) in factorial arrangement 4 x 3, for that which thought about the following objectives: **i) To** Validate the answer of the three stubs of *Azospirillum spp.*, for the production of soft corn. **ii) To** Evaluate the answer of the three doses of N on the different components of the yield of corn INIAP 111; **iii) to** Carry out a budget economic analysis partially and marginal rate of return, to determine the best treatment and to transfer the technology to the farmers. A significant effect of the stubs gathered in the counties of Chimborazo, Bolívar and Tungurahua existed; being the most efficient in this investigation the Stump Chimborazo with 5.335 Kg\ha of soft corn. For the N, a lineal answer was presented, that is to say to bigger dose of N, but yield of corn. Additionally, a dependence of factors was determined among the stubs of *Azospirillum spp.*, and

the N, bony they were dependent factors. However for the area agroecológica of the Laguacoto, the best application as for net profit is the treatment: T8: C4N2 (stubs Chimborazo+ 60 Kg\ha of N). Finally this study allowed reducing the use of (N) synthetic at 60 KgN\Ha of the highest dose, what contributes to the reduction of the contamination of the environment with a production in ecological process of the dry corn, contributing to the alimentary security.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO, S.; CORDOVA, J. y LOPEZ, M. 2000. Metodología de análisis físico químico de suelos, aguas y foliares. Tercera aproximación. Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito- Ecuador. Pp. 6 a 24
2. AMOOAGHAIE, R.; MOSTAJEREN, A.; y EMTIAZI, G. 2002. The effect of compatible and incompatible *Azospirillum brasilense* strains on proton efflux of intact maize roots- *Azospirillum* and proton efflux of maize root. Plant soil. Pp. 155 – 160.
3. BASHAM, Y.; AND LEVANONY, H. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation thecnology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. Microbiology. Pp. 591 - 608.
4. BAVER, GARDER. 1991. Física de Suelos. Editores Noriega. México D. F. Pp. 52-53
5. BASHAN, Y.; y HOLGUIN, G. 1997. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos. I. *Azospirillum*. Terra. Pp. 159-194
6. BERNAL, G.; y GRAHAM, P. H. 2001. Diversity in the rhizobiaassociated with *Phaseolus vulgaris* L. in Ecuador, and comparisons with Mexican bean rhizobia. Canadian Journal of Microbiology. 47(6):530-531.
7. BURDMAN, S.; Okon, Y.; and Jurkevitch, E. 2000. Surface characteristics of *Azospirillum brasilense* in relation to cell aggregation and attachment to plant roots. Crit. Rev. Microbiol. 26:91-110.

8. CABALLERO, J. 1998. El género *Azospirillum* (en línea). Cuernavaca, MX, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Disponible en: <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/libros/microbios/cap10>.
9. CABALLERO, J. 2001. Estudio de la distribución y la diversidad genética de algunas especies de diazotrofos. México DF, MX. snt. p. 2
10. CAVIEDES, M., YÁNEZ, C., SILVA, E., DOBRONSKY, J., HEREDIA, MONAR, C. 2002. Nueva Variedad de Maíz Blanco Harinoso Tardío INIAP-111. Boletín divulgativo No. 163. Programa de Maíz, Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador. p 8
11. CEDECO, 2005. Serie Agricultura Orgánica N°8. San José, Costa Rica. p 5
12. CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México, D.F., MX. p. 79
13. CREA (Venado Tuerto, Ing. Boxler, año 2003).
14. CRONQUIST, A. 1988. The Evolution and classification of flowering plants. The New York bot. Gard. 12<sup>th</sup> ed. New York, US. p. 555.
15. DELGADO, J. y MONAR, C. 2010. Eficiencia de N. ARS. USDA. Colorado.UIA. p 10.
16. DÖBEREINER, J., Urquiaga, S. 1995. Alternatives for nitrogen of crops in tropical soil. Fertilizer Research. Pp. 339-346.
17. DOBRONSKI, J.; SILVA, E.; VÁSQUEZ, J. 1998. Control del gusano de la mazorca de maíz mediante el uso de aceite vegetal. Plegable Divulgativo No. 166. INIAP-COSUDE. Quito- Ecuador.

18. DOMINGUEZ, A. 1989. Abono de hortalizas aprovechadas por sus frutos. Madrid: Ministerio de la Agricultura, Pesca y Alimentación. p. 16
19. ENCICLOPEDIA PRACTICA DE AGRICULTURA Y GANADERIA. 2010. Producción ANDES, J. y Agrícola Santa Fe. Bogotá, Colombia. p 114.
20. EL KHAWAS, M., AND ADACHI, K. 1999. Identification and cuantification of auxins in the cultura media of *Azospirillum* and *klebsiella* and their effect on rice roots. Fertility Soils. Pp. 377 – 381.
21. ESPINOZA, L. 2004. Caracterización y selección de la bacteria diazotrófica *Azospirillum* spp., asociado con el maíz de altura (Zea mays L). INIAP. Tesis Ingeniero. Agronomo. Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador. p. 90.
22. FAIRHURST, T.; WITT, C. 2002. Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes. España. Pp 1-40.
23. 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.
24. FAO, 1996. Fijación biológica del Nitrógeno. Desde el surco. Impresión Publingraf. Quito, Ecuador. Pp. 54-56
25. FRONTERA, G. Nota Técnica Crinigan S.A. 2006. Disponible en [www.drcalderonlabs.com](http://www.drcalderonlabs.com)
26. Fuentes Principales de Nitrógeno y Aguas Subterráneas. 2003. Art. de Divulgación. Disponible en. <http://ecoplexity.org/node/596>.

27. GIRARD, H., ROUGIEX, R. 1964. Técnica de Microbiología Agrícola. Zaragoza – España. p.244, p 27.
28. GONZÁLEZ, A., RAISMAN, J. 2000. Ciclos Biogeoquímicos. Tomado de: [http:// fai.unne.edu.ar/ biología/planta/ cicloge. htm](http://fai.unne.edu.ar/biología/planta/cicloge.htm)/Nutrición. Consultado el Agosto de 2009.
29. HERRERA, J. Enciclopedia Práctica de la Agricultura y la Ganadería. Editorial, Océano. Barcelona, España. p. 472
30. HESENAL, P. La erosión Extrema de Suelos por el Agua. 2002. Rapp. Francia. p.75
31. INIAP. 1997. Catálogo de Recursos Genéticos de Maíces de Altura Ecuatoriana. Programa de Maíz. EESC. Quito, Ecuador. p.139
32. INIAP. 2003. Catálogo de Recursos Genéticos de Maíces de Altura Ecuatoriana. Programa de Maíz. EESC. Quito, Ecuador. p.131
33. INIAP, 2007. Manejo de Nutrientes por Sitio Especifico con Labranza de Conservación en el Cultivo de Maíz. Departamento de Suelos y Agua. Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador. Pp. 10 a 30
34. INIAP/PNRT-PAPA, 2008. Guía para el manejo y toma de datos de ensayos de mejoramiento de papa. Instituto nacional autónomo de investigaciones agropecuarias. Programa nacional de raíces y tubérculos - papa. Documento por publicar. Quito- Ecuador. Pp. 25 a 38.
35. JACKSON. M.L. 1982. Análisis Químico de Suelos. OMEGA S.A. Barcelona. Pp. 32-45.

36. JUGENHEIMER, R. 1997. Identificación de Problemas en la Producción de Maíz Tropical, Guía de Campo. México, CIMMYT. Pp. 33-38 y 100-102
37. KAPULNIK, Y., M. Feldman, Y. Okon, and Y. Henis. 1985. Contribution of nitrogen fixed by *Azospirillum* to the N nutrition of spring wheat in Israel. Soil Biol. Biochem. 17:509-515.
38. KAMNEV, A., ANTONYUK, L., MATORA, L., IGNATOV, V. 1999. Spectroscopic characterization of cell membranes and their constituents of the plant associated soil bacterium *Azospirillum brasilense*. Molecular Structure. Pp. 387 a 393.
39. KASS, D. 1998. .Fertilidad de los suelos. 1era impresión. EUNED. San José, Costa Rica. p. 233
40. KRAFFCZYK, I., TOLLDEINER, G., BERINGER, H. 1984. Soluble roots exudates of maize: in fluence of potassium supply and rhyzosphere microorganism. Soil Biol. Biochem, 16: 315-322.
41. KENNEDY, R., CHELLAPILAI, D. 1998. Synergistic effect of VMA, *Azospirillum* and phosphobacteria on growth response and nutrient uptake of shoal tree species. Pp. 308 a 312.
42. LANGDALE, S. 1982. Citado por López. 1991.
43. LAFITTE, H. (1994). Efectos de la labranza mínima en el crecimiento y rendimiento del maíz. XI Seminario Labranza de conservación en maíz. ICA-PROCIANDINO. El Batán (Mex). Pp. 71-87
44. MARTIN, A. 1980. Introducción a la Microbiología del Suelo. Ed. AGT. México. Pp. 11-116

45. MARTÍNEZ, R., LOPÉZ, M., ALVAREZ, B., ZAMBRANO, C., SÁNCHEZ, J. 2008. La fijación biológica del nitrógeno atmosférico en condiciones tropicales. Ed. CIARA, Caracas. p. 166
46. MARTÍNEZ, R., TOLEDO, N., ARGUELLES, C. 1999. Introducción al conocimiento de los biofertilizantes. Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, México. p. 43
47. MAROTO, J. 1998. Horticultura Herbácea especial. Cuarta edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Pp. 589 a 593.
48. MANUAL AGROPECUARIO 2004. Tecnologías Orgánicas de la Granja Integral Autosuficiente. 2004. Colombia. Pp. 23-34
49. MEDINA, N., PINO, M. A. 1992. Evaluación de diferentes especies de bacterias y hongos MVA y sus combinaciones como biofertilizantes para el tomate cultivado fuera de época. VIII Seminario Científico del INCA. p. 38.
50. MILANO, E. 2007. Qué son los Biofertilizantes y cómo nos pueden beneficiar. Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras. Publicación gratuita. Gobierno Bolivariano de Venezuela. Pp. 4 a 10.
51. MONAR, C. 1994. Informe Anual de Actividades. UVIT-B., Guaranda, Ecuador. Pp. 52 MONAR, C. 1995. Informe Anual. Unidad de Validación y Transferencia de Tecnología- Bolívar. Guaranda, Ecuador. p 33.
52. MONAR, C. 1997. Informe Anual de Labores. Proyecto Integral Noreste de Bolívar (PI – NEB) – INIAP – FEPP. Guaranda, Ecuador. p. 40

53. MONAR, C. 1999. Informe Anual de Labores. Proyecto Integral Noreste de Bolívar (PI – NEB) – INIAP – FEPP. Guaranda, Ecuador. p. 34
54. MONAR, C. 2000. Informe Anual de Labores. Proyecto Integral Noreste de Bolívar (PI – NEB) – INIAP – FEPP. Guaranda, Ecuador. p. 34
55. MONAR, C. y REA, A. 2003. Manejo Agronómico del Sistema de Cultivo de Maíz – Frejol voluble. Boletín Divulgativo. Guaranda, Ecuador. p. 34
56. MONAR, C. 2009. Informe Anual de Actividades. UVTT/C-Bolívar. INIAP, Guaranda, Ecuador. p. 28
57. MONAR, C. 2010; y Rivadeneira, M.J.2012.
58. MONAR, C. 2012. Comunicación personal.
59. MONAR, C. 2013. Comunicación personal.
60. MORTIMER, P., STOLP, H., TRUPER, H., BALOWS, A.,SCHLEGEL, H. 1981. The Prokariotes. A handbook on habitats, isolation, and identification of bacteria. New York, US. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Vol. 1, Pp. 796 a 808.
61. MORENO, J., LÓPEZ, G., VELA, R. 1986. Survival of *Azotobacter* spp in dry soils. *Appl. Environm. Microbial.*, 51: 123-125
62. NOROÑA, J. 2008. Caracterización y evaluación agromorfológica de 64 accesiones de maíz negro y 27 accesiones de maíz chulpi (*Zea mays* L.) colectados en la serranía del Ecuador. Tesis Ingeniero. Agrónomo. Universidad Técnica de Cotopaxi, Ciencias Agrícolas, Ambientales y Veterinarias, Ingeniería Agronómica. Pp. 32 a 34

63. Okon, Y., and C. A. Labandera-Gonzalez. 1994. Las aplicaciones agronómicas de evaluación de *Azospirillum*—an de 20 años de inoculación del campo mundial.
64. PARSONS, D. 1998. Manual para la Educación Agropecuaria. Edición Trillas. Pp. 35, 36, 37, 38, 71,72
65. PEREIRA, M., SAURA, G., FERNANDEZ, R., HIDALGO, J. 2001. Fijador de Nitrógeno, *Azospirillum* spp. Edit. FIAGRO (Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria), El Salvador. Pp. 123-137
66. PÉREZ, S.; TORRALBA, A. 1997. La fijación del Nitrógeno por los seres vivos. Seminario Fisiología Vegetal, 21.01. Facultad Biología Oviedo. Disponible en: <http://scriptusnaturae.8m.com/Articulos/FijN/asociativa.html>.
67. PICCOLI, P., LUCANGELI, C., ACHNEIDER, G., BOTTINI, R. 1997. Hydrolysis of gibberellins to glucoside by *Azospirillum lipoferum* culture in a nitrogen free biotin based chemically defined medium. Plant Growth Regulator. Pp. 179 a 182.
68. RAMÍREZ, M. 2004. Desarrollo de un método alternativo de producción de almácigos de tomate con bacterias fijadoras de nitrógeno. Tesis Ingeniería en Biotecnología. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Biología, Carrera de Ingeniería en Biotecnología. Cartago. p. 66
69. REYES, P. 1995. Fitogenotecnia Básica y Aplicada. AGT Editor, México. Pp. 384-388.
70. SAUBIDET, M., FATTA, N., BARNEIX, A. 2002. The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on growth and nitrogen utilization by wheat plants. Plant Soil. Pp. 215 a 222.

71. SICA. 2002. III Censo Nacional Agropecuario. Resultados nacionales y provinciales. INEC – MAG – SICA. Quito. 1:255. Disponible en [www.sica.gov.ec](http://www.sica.gov.ec)
72. SUQUILANDA, M. 1996. Agricultura Orgánica. Quito, Ec., Ediciones UPS FUNDAGRO. Pp. 46 a 250
73. SILVA, E., CAVIEDES, M., DOBRONSKY, J., ZAMBRABO, L., CAICEDO, M., HEREDIA, J., 1997. Variedad de Maíz Blanco Precoz INIAP-101. Boletín divulgativo No. 292. Programa de Maíz, Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador.
74. STEENHOUDT, O., KEIJERS, V., OKON, Y., VANDERLEYDEN, J. 2001. Identification and characterization of a periplasmic nitrate reductase in *Azospirillum* spp 245. Microbiology. Pp. 344 a 352
75. SUQUILANDA, M. 2006. Agricultura Orgánica. Tercera Edición. Quito, Ec., Ediciones UPS FUNDAGRO. Pp. 95 a 126
76. TERRANOVA. 1995. Producción Agrícola 1. Bogotá, Colombia. Terranova editor. Tomo 1. Pp. 110 a 112
77. TSAGOU, V., KEFALOGIANNI, I., SINI, K., AGGELI, G. 2003. Metabolic activities in *Azospirillum* grown in the presence of NH<sub>4</sub>. Biotechnology. Pp. 574 a 578.
78. THULER, D., NADRO, W., BARBOSA, H. 2003. Plant growth regulator and amino acids released by *Azospirillum* spp. In chemicals defined media. Microbiology. Pp. 174 a 178.
79. VERISSIMO, L. 1999. Enciclopedia Práctica de la Agricultura y la Ganadería. Editorial Océano. Barcelona, España. Pp. 309-313

80. WITT, C.; BALASUBRANANIAN, V.; DOBERMAN, A.; and BURESH, R. 2002. Nutrient management. pp 1-45. In Fairhurst, T. and C Witt (eds.) Rice: a practical guide for nutrient management. Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute (IRRI). Pp. 1-100
  
81. 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
  
82. YÁNEZ, C. 2007. Manual de Producción de Maíz para Pequeños Agricultores y Agricultoras. Programa de Maíz. INIAP. Ecuador. Pp. 2 a 16
  
83. YÁNEZ, C., ZAMBRANO, J., CAICEDO, M., SANCHEZ, A., HEREDIA, J. 2003. Catálogo de Recursos Genéticos de Maíces de Altura Ecuatorianos. Programa de Maíz. INIAP. Ecuador. Pp. 1 a 28
  
84. YOGODIN, B., MINOV, Y., PETERSBURSKI, D. 1986. Agroquímica Tomo I. Moscú MIR. p. 416
  
85. ZUBERER, D. 1990. Soil rhizosphere aspects of N<sub>2</sub>-fixing plant-microbe associations. En the Rhizosphere, John Wiley and sons Ed., Nueva York. Pp. 317-352.

A NEVOS  
**A NEVOS**  
A NEVOS

**ANEXO 1.**

**Mapa físico de la localidad en estudio**



## ANEXO 2:

### Base de datos

#### Códigos:

**V1:** Repeticiones.

**V2:** Factor A (cepas de *Azospirillum* spp).

**V3:** Factor B (dosis de Nitrógeno).

**V4:** % de emergencia

**V5:** Altura de planta.

**V6:** Altura de mazorca.

**V7:** Días a la floración femenina.

**V8:** Días a la floración masculina.

**V9:** Daño a la mazorca por *Eliothis zae* y *Euxesta elluta*.

**V10:** Longitud de mazorca.

**V11:** Diámetro de mazorca.

**V12:** Plantas sin mazorca.

**V13:** Plantas con mazorca.

**V14:** Población de *Azospirillum* al inicio.

**V15:** Población de *Azospirillum* al intermedio.

**V16:** Población de *Azospirillum* a la cosecha.

**V17:** Profundidad de raíces.

**V18:** Peso de raíces.

**V19:** Cantidad de raíces.

**V20:** Nitrógeno en forma de amonio.

**V21:** Nitrógeno en forma de nitratos.

**V22:** Rendimiento en Kg/ Ha al 14% de humedad.

**V23:** Extracción de Nitrógeno de la planta.

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12
REP	FA	FB	PE	AP	AM	DFF	DFM	D. H y E	L M	D M	PSM
1	1	1	91	2.05	1.03	139	133	28	65	24	20
1	1	2	93	2.29	0.93	134	130	0	62	24	11
1	1	3	90	2.41	1.09	135	129	28	45	22	30
1	2	1	86	2.19	1.04	134	129	3	60	26	13
1	2	2	86	2.42	1.29	130	127	0	64	24	10
1	2	3	95	2.72	1.35	127	124	0	64	24	5
1	3	1	90	2.62	1.14	127	124	0	62	25	12
1	3	2	89	2.65	1.29	131	127	0	64	23	14
1	3	3	89	2.78	1.21	137	133	0	60	22	8
1	4	1	93	2.45	1.33	131	127	0	70	24	8
1	4	2	90	2.73	1.30	135	129	28	71	24	3
1	4	3	89	2.67	1.42	135	129	0	66	23	5
2	1	1	88	2.10	1.05	140	133	26	56	21	24
2	1	2	93	2.16	0.80	133	129	0	52	21	17
2	1	3	88	2.39	0.96	133	129	28	62	24	18
2	2	1	88	2.45	1.01	134	130	28	61	21	11
2	2	2	86	2.70	1.32	133	129	0	66	23	10
2	2	3	94	2.63	1.30	128	124	0	74	24	7
2	3	1	91	2.55	1.20	133	129	0	63	23	14
2	3	2	86	3.03	1.71	130	127	0	63	25	0
2	3	3	86	2.71	1.44	134	129	0	63	23	3
2	4	1	95	2.88	1.14	132	127	0	60	23	2
2	4	2	88	2.89	1.37	135	129	0	68	24	6
2	4	3	87	3.34	1.50	135	129	0	72	25	4
3	1	1	89	2.06	1.02	134	131	0	67	23	14
3	1	2	90	2.28	0.92	135	130	0	58	23	23
3	1	3	91	2.50	1.11	133	129	26	55	25	20
3	2	1	86	2.28	1.01	133	129	26	65	24	8
3	2	2	88	2.54	1.29	130	127	3	70	21	20
3	2	3	96	2.75	1.34	127	124	0	73	23	4
3	3	1	93	2.40	1.10	134	129	0	65	24	19
3	3	2	87	2.65	1.28	135	129	0	66	23	8
3	3	3	88	2.55	1.27	134	129	26	69	22	4
3	4	1	96	2.45	1.38	130	127	0	72	21	5
3	4	2	89	2.73	1.20	132	127	0	70	24	5
3	4	3	90	2.72	1.42	155	129	0	73	24	7

V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23
PCM	PAI	PAI	P AC	Pr R	Pe R	Cn R	N- NH4	N- NO3	Rento. S (Kg/ha)	ENP
90	300	4600	140	7.2	4.6	3	33	7.4	2683.65	0.42
99	300	15150	450	8.6	9.8	3	20	12.6	2991.92	0.28
98		3610	140	10.1	14.9	5	20	12.8	3825.57	0.35
96		3180	300	11.1	15.5	5	53	18.5	3858.36	0.42
102		4630	140	11.5	14.6	7	43	23.5	3758.13	0.42
102		95170	450	12.3	17.3	7	33	14.7	5180.23	0.63
107		4630	140	12.9	16.6	7	29	17.6	6069.58	0.42
105		3110	300	13	15.9	7	26	12.6	5852.26	0.42
86		4500	140	7.4	4.9	3	27	5.0	2357.75	0.35
93		15000	450	8.5	10.3	3	33	10.9	3176.23	0.35
92		11000	300	8.3	7.9	3	33	7.1	3264.87	0.56
99		20000	140	8.4	12.9	5	24	8.1	3198.15	0.35
100		3000	300	9.3	12.8	5	23	13.3	3605.58	0.18
103		95000	450	11.10	18.4	7	39	9.3	5592.31	0.35
96		3500	140	10.6	14.2	5	34	24.0	3426.01	0.42
110		3000	300	10.3	15.7	7	36	20.0	4383.43	0.28
107		4500	140	12.5	13.2	7	40	94.7	4227.51	0.42
104		95000	450	12.2	18.1	7	52	35.2	4663.98	0.63
108		4500	140	11.7	15.4	5	60	95.6	5399.16	0.56
106		3000	300	12.3	16.4	7	30	27.3	5424.37	0.28
96		4500	140	7.6	4.3	3	46	7.6	2149.13	0.49
87		15000	450	8.9	10.2	3	40	4.5	2818.60	0.49
90		11000	300	8.7	8.2	3	49	9.5	3154.65	0.42
102		20000	140	8.3	12.5	5	35	11.9	3619.23	0.63
90		3000	300	9.6	12.0	5	33	30.4	3113.94	0.35
106		95000	450	12.8	17.8	7	34	30.0	5470.43	0.49
91		3500	140	10.8	13.4	5	38	16.4	3058.12	0.35
102		3000	300	9.5	16.4	5	37	31.4	3960.69	0.42
106		4500	140	13	14.9	7	28	13.3	4324.79	0.42
105		95000	450	12.6	17.0	7	81	55.9	4928.98	0.42
105		4500	140	12	15.6	7	54	86.6	5300.97	0.63
103		3000	300	11.6	16.6	7	38	12.8	5200.23	0.56

**ANEXO 3.**

**Análisis de laboratorio del suelo**

**3.1. Análisis de suelo macronutrientes, micronutrientes, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Materia orgánica al inicio del ensayo.**

 <b>INIAP</b> INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	<b>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</b> <b>LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</b> Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	---	---

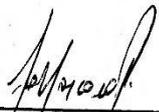
**REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS**

<p style="text-align: center;"><b>DATOS DEL PROPIETARIO</b></p> Nombre : CARLOS YANEZ Dirección : GUARANDA Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;"><b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b></p> Nombre : UNIV. ESTATAL BOLIVAR Provincia : BOLIVAR Cantón : GUARANDA Parroquia : VEINTILLA Ubicación :	<p style="text-align: center;"><b>PARA USO DEL LABORATORIO</b></p> Cultivo Actual : MAIZ Fecha de Muestreo : 30/11/2011 Fecha de Ingreso : 09/12/2011 Fecha de Salida : 20/12/2011
--	--	---

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH <sub>4</sub>	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
46032	M1	6,44LAc	30,00 M	13,00 M	11,00 M	0,49 A	12,00 A	2,80 A	3,0 M	15,9 A	172,0 A	10,9 M	1,70 M
46033	M2	6,44LAc	24,00 B	15,00 M	16,00 M	0,53 A	13,00 A	3,00 A	3,4 M	17,7 A	200,0 A	10,7 M	0,90 B

INTERPRETACION		
pH		Elementos
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal		T = Tóxico (Boro)

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

  
 RESPONSABLE LABORATORIO

  
 LABORATORISTA



## ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"

LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340

Quito- Ecuador Telf: 690-691/92/93 Fax: 699-693



### REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre	: CARLOS YANEZ	Nombre	: UNIV. ESTATAL BOLIVAR	Cultivo Actual	: MAIZ
Dirección	: GUARANDA	Provincia	: BOLIVAR	Fecha de Muestreo	: 30/11/2011
Ciudad	:	Cantón	: GUARANDA	Fecha de Ingreso	: 09/12/2011
Teléfono	:	Parroquia	: VEINTILLA	Fecha de Salida	: 20/12/2011
Fax	:	Ubicación	:		

N° Muest.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural		
	Al+H	Al	Na									C.E.	M.O.	Mg		K	K
46032																	
46033					5,20 A	4,29	5,71	30,20	15,29								
					3,40 M	4,33	5,66	30,19	16,53								

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

ABREVIATURAS	
C.E.	= Conductividad Eléctrica
M.O.	= Materia Orgánica
RAS	= Relación de Adhesión de Sodio

METODOLOGIA USADA	
C.E.	= Pesa Saturada
M.O.	= Dicromato de Potasio
Al+H	= Tinción NaOH

  
RESPONSABLE LABORATORIO

  
LABORATORISTA

3.2.

**Análisis de suelo de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  al final del ensayo.**



ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS  
Km 141/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340  
Telf. -Fax 690694  
QUITO - ECUADOR



Nombre del propietario:	PROGRAMA DE MAÍZ	Fecha de muestreo:	13/09/2012
Nombre del remitente:	ING. CARLOS YÁNEZ	Muestra:	SUELO
Nombre de la Granja	LAGUACOTO III (UEB)	Fecha ingreso Laboratorio:	18/10/2012
Localización	VEINTIMILLA GUARANDA BOLÍVAR	Fecha de entrega	31/10/2012
	Parroquia      Cantón      Provincia		

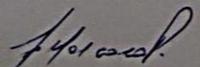
  

**INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS**

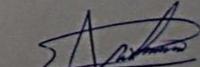
  

No. Muestra Laboratorio	Identificación del lote	ppm	
		N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
46184	R1 T1	33	7.4
46185	R1 T2	20	12.6
46186	R1 T3	27	4.7
46187	R1 T4	28	11.4
46188	R1 T5	30	16.2
46189	R1 T6	41	40.9
46190	R1 T7	20	12.8
46191	R1 T8	53	18.5
46192	R1 T9	43	23.5
46193	R1 T10	33	14.7
46194	R1 T11	29	17.6
46195	R1 T12	26	12.6
46196	R2 T1	27	5.0
46197	R2 T2	33	10.9
46198	R2 T3	33	7.1
46199	R2 T4	24	8.1
46200	R2 T5	23	13.3
46201	R2 T6	39	9.3
46202	R2 T7	34	24.0
46203	R2 T8	36	20.0
46204	R2 T9	40	94.7
46205	R2 T10	52	35.2
46206	R2 T11	60	95.6
46207	R2 T12	30	27.3



RESPONSABLE LABORATORIO



LABORATORISTA



ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS  
Km 141/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340  
Telf. -Fax 690694  
QUITO - ECUADOR



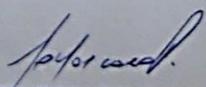
Nombre del propietario  
Nombre del remitente  
Nombre de la Granja  
Localización

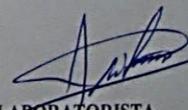
PROGRAMA DE MAÍZ  
ING. CARLOS YÁNEZ  
LAGUACOTO III (UEB)  
VEINTIMILLA GUARANDA BOLÍVAR  
Parroquia Cantón Provincia

Fecha de muestreo: 13/09/2012  
Muestra: SUELO  
Fecha ingreso Laboratorio: 18/10/2012  
Fecha de entrega: 31/10/2012

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

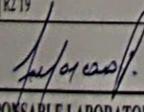
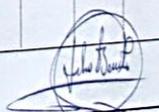
No. Muestra Laboratorio	Identificación del lote	ppm	
		N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
46208	R3 T1	46	7.6
46209	R3 T2	40	4.5
46210	R3 T3	49	9.5
46211	R3 T4	35	11.9
46212	R3 T5	33	30.4
46213	R3 T6	34	30.0
46214	R3 T7	38	16.4
46215	R3 T8	37	31.4
46216	R3 T9	28	13.3
46217	R3 T10	81	55.9
46218	R3 T11	54	86.6
46219	R3 T12	38	12.8

  
RESPONSABLE LABORATORIO

  
LABORATORISTA

3.3.

**Análisis de extracción de Nitrógeno.**

 <p><b>INIAP</b> INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</p>	<p><b>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</b> LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693</p>														
<b>REPORTE DE ANALISIS FOLIARES</b>															
<p style="text-align: center;"><b>DATOS DEL PROPIETARIO</b></p> <p>Nombre : PROGRAMA DE MAÍZ Dirección : Ciudad : Teléfono : Fax :</p>	<p style="text-align: center;"><b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b></p> <p>Nombre : LAGUACOTO III Provincia : Cantón : Parroquia : Ubicación : ING. CARLOS YÁNEZ</p>	<p style="text-align: center;"><b>PARA USO DEL LABORATORIO</b></p> <p>Cultivo : MAÍZ S/R Fecha de Muestreo : 18/10/2012 Fecha de Ingreso : 18/10/2012 Fecha de Salida : 09/11/2012</p>													
N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	(% )							(ppm)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
23767	R1 T1	0,42													
23768	R1 T2	0,28													
23769	R1 T3	0,35													
23770	R1 T4	0,28													
23771	R1 T5	0,28													
23772	R1 T6	0,28													
23773	R1 T7	0,35													
23774	R1 T8	0,42													
23775	R1 T9	0,42													
23776	R1 T10	0,63													
23777	R1 T11	0,42													
23778	R1 T12	0,42													
23779	R2 T1	0,35													
23780	R2 T2	0,35													
23781	R2 T3	0,56													
23782	R2 T4	0,35													
23783	R2 T5	0,28													
23784	R2 T6	0,35													
23785	R2 T7	0,42													
23786	R2 T8	0,28													
23787	R2 T9	0,42													
 <b>RESPONSABLE LABORATORIO</b>		 <b>LABORATORISTA</b>													

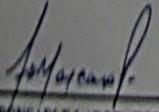
**DATOS DEL PROPIETARIO**  
 Nombre : PROGRAMA DE MAÍZ  
 Dirección :  
 Ciudad :  
 Teléfono :  
 Fax :

**DATOS DE LA PROPIEDAD**  
 Nombre : LAGUACOTO III  
 Provincia :  
 Cantón :  
 Parroquia :  
 Ubicación : ING. CARLOS YÁNEZ

**PARA USO DEL LABORATORIO**  
 Cultivo : MAÍZ S/R  
 Fecha de Muestreo : 18/10/2012  
 Fecha de Ingreso : 18/10/2012  
 Fecha de Salida : 09/11/2012

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	(%)								(ppm)					
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
23788	R3 T10	0,63													
23789	R3 T11	0,56													
23790	R3 T12	0,28													
23791	R3 T1	0,49													
23792	R3 T2	0,49													
23793	R3 T3	0,42													
23794	R3 T4	0,63													
23795	R3 T5	0,35													
23796	R3 T6	0,49													
23797	R3 T7	0,35													
23798	R3 T8	0,42													
23799	R3 T9	0,42													
23800	R3 T10	0,42													
23801	R3 T11	0,63													
23802	R3 T12	0,56													

**INTERPRETACION**  
 B = Bajo  
 S = Suficiente  
 A = Alto

  
 RESPONSABLE LABORATORIO

  
 LABORATORISTA

### 3.4.

**Tabla de Mc Crady: 3 tubos por dilución (Universidad Complutense, 2001).**

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		

### 3.5.

**Número más probable (NMP) inicial de *Azospirillum* spp, por gramo de suelo, en el estudio "Evaluación del biofertilizante a base de cepas de *Azospirillum* spp., en el cultivo de Maíz (*Zea mays* L.). Variedad INIAP-111, en complemento con tres dosis de fertilización". Guaranda- Bolívar 1012.**

Muestra No.	Procedencia	Número Característico	Número Bacterias	Dilución	Número Bacterias por dilución	NMP/g de suelo
1	Bolívar-Guaranda	0,0	0,0	100	0,00	0,00x10 <sup>1</sup>

**3.6.****Medio NFB (Nitrogen Fixation Biological) semi-sólido (Rodríguez y Cáceres, 1982).**

Reactivos	Cantidad
Ácido Málico	5 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.5 g
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.2 g
CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.02 g
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.002 g
MnSO <sub>4</sub>	0.01 g
FeCl <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O	0.01 g
Biotina	0.01 g
Azul de Bromotimol	3 ml
Agar	1.75 g
Agua Destilada	997 ml
Ph	7.0

## ANEXO 5.

### Glosario de términos técnicos

**Biofertilizante:** El concepto de biofertilizante es un concepto de vida (bio), muy fértil que se origina a partir de la intensa actividad de los microorganismos que se encuentran disponibles en la naturaleza.

**UPA:** Unidad de producción agrícola

**EESC:** Estación Experimental santa Catalina.

**DMSA:** Departamento de manejo de Suelo y Aguas.

**FBN:** Fijación Biológica del Nitrógeno.

**Azospirillum:** pertenece a la clase alfa de las protobacterias.

**Labranza mínima o no convencional:** Es un sistema que se recomienda en aquellas regiones en donde la precipitación es baja o con mala distribución y en aquellos lugares en donde no es posible utilizar maquinaria agrícola; ya sea por que son suelos con mucha pendiente.

**Monocultivo:** Se refiere a las plantaciones de grandes extensiones con el cultivo de una sola especie.

**Sulpomag:** Es un fertilizante que contiene tres nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, potasio (22%); magnesio (11%) y azufre (22%).

**Rizoplano:** Zona de interacción entre las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo.

**Phyllosphera:** Parte aérea de la planta.

**Cosmopolita:** Se encuentra en todo el mundo.

**pH:** Es una medida de acidez o alcalinidad, nos indica la concentración de iones hidrogeno presentes en determinada sustancia.

**Monosacárido:** Son sustancias blancas; con sabor dulce, cristalizables y solubles en agua.

**Polisacárido:** Son biomoléculas formadas la unión de una gran cantidad de monosacáridos.

**Quimiotaxis:** Este evento es una fuerte atracción entre las bacterias y las raíces de la planta a través de sus propios exudados como son: malato, succinato, fructosa.

**Fitohormona:** Son hormonas naturales o sintéticas, que intervienen en el desarrollo de las plantas, promoviendo o inhibiendo determinados procesos de desarrollo.

**Fijación Biológica de di-nitrógeno molecular:** Se entiende la combinación de nitrógeno molecular o de di-nitrógeno con oxígeno o hidrogeno para dar óxidos o amonio que pueden incorporarse a la atmosfera.

**Auxina:** Hormona natural o sintética que actúa en el crecimiento causando principalmente elongación celular.

**Citocininas:** Son hormonas vegetales naturales que derivan de adeninas sustituidas y que promueven la división celular en tejidos no meristemáticos.

**Gibberalinas:** Hormonas del crecimiento que provocan la elongación de tallos.

**Enzima:** Proteína que cataliza las reacciones bioquímicas del metabolismo.

**Etileno:** Es un compuesto químico orgánico formado por átomos de carbono enlazados mediante un doble enlace. Es uno de los productos químicos más importantes de la industria química. Se halla de forma natural en las plantas.

**Desnitrificación:** Es la conversión de nitrato en nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ) o en óxidos de nitrógeno, también gaseosos, que pasan a la atmósfera.

**Nitrificación:** En este proceso el amonio ( $NH_4^+$ ) se transforma primero en nitrito, y este en nitrato, mediante la acción de las bacterias aerobias del suelo.

**Inmovilización:** O mineralización es la transformación del nitrógeno orgánico en amonio mediante la acción de los microorganismos del suelo.

**Nitrogenasa:** Es una enzima utilizada por las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico para romper el nitrógeno molecular ( $N_2$ ) y combinarlo con el hidrogeno para formar amoniaco.

**NO<sub>2</sub>:** Nitrito; **NO<sub>3</sub>:** Nitrato; **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:** Amonio; **ATP:** Adenosin Trifosfato.

**Rizobacterias:** Son los microorganismos promotores de crecimiento vegetal, y generalmente provienes de un cultivo puro del microorganismo aislado de la raíz de alguna planta de interés y se multiplica en un medio de cultivo específico para luego ser transferido al sustrato, y de esta forma son utilizados en la agricultura.

**Simbiosis:** Es una forma de interacción biológica que hace referencia a la relación estrecha y persistente entre organismos de distintas especies. A los organismos involucrados se les denomina simbiosiontes.

**Fertilización:** El uso de fertilizantes resulta imprescindible para el mantenimiento de altos rendimientos en las cosechas. Mediante la fertilización inorgánica, son añadidas al suelo cantidades importantes de nitrógeno, fosforo y potasio, así como otros elementos minerales.

**La fertilización de fondo:** Se efectúa antes de la siembra, con objeto de cubrir las necesidades del cultivo. Los fertilizantes que generalmente se utilizan son los de solubilidad lenta, para evitar el lavado de nutrientes.

**La densidad aparente:** del suelo en un buen indicador de importantes características del suelo, tales como porosidad, grado de aireación y capacidad de drenaje.

**CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico, se expresa en mili equivalentes por 100 g de suelo.