

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EFFECTO DE *Rhizobium etli+tropici* SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRIJOL, VARIEDAD ICTA  
PATRIARCA; QUESADA, JUTIAPA  
TESIS DE GRADO

**LUIS LEONARDO MORFIN ROSA**  
CARNET 22343-09

JUTIAPA, AGOSTO DE 2017  
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EFFECTO DE *Rhizobium etli+tropici* SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRIJOL, VARIEDAD ICTA  
PATRIARCA; QUESADA, JUTIAPA  
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**LUIS LEONARDO MORFIN ROSA**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO

JUTIAPA, AGOSTO DE 2017  
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS  
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

ING. EDGAR EDGARDO CARRILLO RAMOS

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

ING. HECTOR HUGO RUANO SOLIS  
ING. MARIA ISABEL MORAN SOSA DE YANES  
LIC. EDWIN ROLANDO PAREDES MAZARIEGOS

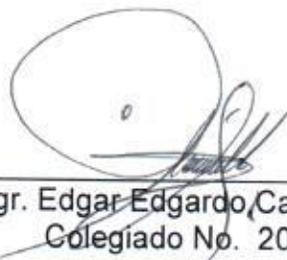
Jutiapa, Agosto de 2017

Honorable Consejo de trabajos de graduación  
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Presente.

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he finalizado la revisión del Informe Final de Tesis del estudiante Luis Leonardo Morfin Rosa carné 2234309, titulado: **"EFECTO DE *Rhizobium etli+tropici* SOBRE EL RENDIMIENTO DEL FRIJOL, VARIEDAD ICTA PATRIARCA; QUESADA, JUTIAPA"** el cual considero que cumple con los requerimientos establecidos por la Facultad para ser aprobada previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



---

Ing. Agr. Edgar Edgardo Carrillo Ramos  
Colegiado No. 2047



Universidad  
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 06775-2017

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante LUIS LEONARDO MORFIN ROSA, Carnet 22343-09 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS, de la Sede de Jutiapa, que consta en el Acta No. 06102-2017 de fecha 24 de junio de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFFECTO DE *Rhizobium etli+tropici* SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRIJOL, VARIEDAD ICTA PATRIARCA; QUESADA, JUTIAPA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 10 días del mes de agosto del año 2017.



LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ, VICEDECANA  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar

## **AGRADECIMIENTOS**

**A:**

Dios, por darme la vida, sabiduría, fortaleza y la bendición de superarme académicamente.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, por ser parte de mi formación académica.

Ing. Edgardo Carrillo, por su valiosa asesoría, apoyo, revisión y seguimiento a lo largo de la ejecución de la presente investigación.

Mi familia; gracias por las palabras de aliento, apoyo e insistencia para poder culminar este proyecto que me he propuesto en mi vida.

## **DEDICATORIAS**

- DIOS:** Mi padre Celestial, por darme la sabiduría y bendición de permitirme crecer académicamente.
- MI HIJA:** Valery Guisel, mi tesoro, mi mayor bendición, quien es mi fuente de inspiración y me da fuerzas para luchar y alcanzar mis sueños.
- MI ESPOSA:** Iliana González, gracias amor por formar parte de mi vida, gracias por tu apoyo incondicional y estar ahí en todo momento, te amo, este triunfo es nuestro, porque sé que sin tus palabras de ánimo e insistencia no lo hubiese logrado.
- MIS PADRES:** Bertila Escobar y Eladio Rosa, gracias por el apoyo en la búsqueda de mis metas, gracias por el esfuerzo realizada en educarme de la mejor manera posible.
- MI PADRINO:** Ronald Morfin, Gracias por el apoyo incondicional brindado hacia mi persona, gracias por enseñarme a luchar y ser mejor en la vida
- MIS HERMANOS:** ByronAriel, Milton Josué y Sindi Navidad Rosa Escobar, me siento orgulloso de ser su hermano, infinitas gracias por estar ahí cuando he necesitado de una u otra manera de ustedes, los quiero.
- MI ASESOR:** Ing. Edgardo Carrillo, Gracias por su asesoría, apoyarme y facilitarme material en la ejecución de mi investigación.

## INDICE GENERAL

I.INTRODUCCION.....	1
II.MARCO TEORICO .....	2
2.1 Importancia del frijol .....	2
2.2 Historia, biología y ecología de la planta del frijol .....	6
2.2.1 Historia .....	6
2.2.2 Descripción botánica .....	6
2.2.3 Ecología de la planta de frijol.....	7
2.3 Preparación del terreno .....	7
2.4 Suelo .....	8
2.5 Temperatura .....	8
2.6 Precipitación .....	8
2.7Características generales de Rhizobium .....	9
2.8 Resultados de Investigaciones realizadas sobre Rhizobium .....	14
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
3.1 DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL RABAJO .....	19
IV.OBJETIVOS .....	21
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
4.1 OBJETIVO ESPECIFICO .....	21
V. HIPÓTESIS .....	22
5.1 Hipótesis alternativa .....	22
VI. METODOLOGÍA .....	23
6.1 Localización.....	23
6.2 Material experimental .....	23
6.2.1 Frijol.....	23
6.2.2 Bacteria .....	23
6.3 Factor a estudiar.....	24
6.4 Descripción de los tratamientos.....	24
6.5 Diseño experimental.....	25
6.6 Modelo estadístico.....	25
6.7 Unidad experimental.....	26

6.7.1	Área Total de experimento .....	26
6.7.2	Área bruta .....	26
6.7.3	Área neta.....	26
6.8	Croquis de campo .....	26
6.9	Manejo del experimento .....	27
6.9.1	Obtención de la semilla del frijol.....	27
6.9.2	Obtención de la bacteria Rhizobium.....	27
6.9.3	Selección del sitio experimental .....	27
6.9.4	Condiciones del suelo .....	27
6.9.5	Siembra del cultivo .....	28
6.9.6	Control de plagas .....	28
6.9.7	Fertilización .....	28
6.9.8	Control de malezas .....	29
6.10	Variable respuesta.....	29
6.10.1	Numero de nódulos por planta .....	29
6.10.2	Peso seco de nódulos en gramos (g).....	30
6.10.3	Materia seca de la planta en gramos (g).....	30
6.10.4	Rendimiento de grano en kilogramo por hectárea (kg/ha) .....	30
6.11	Análisis de la información .....	30
6.11.1	Análisis estadístico.....	30
6.11.2	Análisis económico.....	31
VII.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	33
7.1	Número de nódulos por planta .....	33
7.2	Peso seco de nódulos en gramos (g) .....	36
7.3	Materia seca por planta en gramos (g).....	38
7.4	Rendimiento de grano en kilogramos por hectáreas (kg/ha) .....	41
7.4.1	Análisis Económico .....	44
VIII.	CONCLUSIONES .....	49
IX.	RECOMENDACIONES .....	50
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
XI.	ANEXOS .....	56

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comportamiento Histórico del Frijol en Guatemala.....	3
Cuadro 2. Porcentaje de participación por departamento en la producción nacional de frijol.....	3
Cuadro 3. Superficie Cosechada de frijol en Centroamérica 2005-2010(Miles de Hectáreas) .....	5
Cuadro 4. Producción de Frijol en Centroamérica 2005-2010 (Miles de Toneladas) ....	5
Cuadro 5. Tratamientos a evaluar .....	25
Cuadro 6. Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol expresado en kg/ha .....	29
Cuadro 7. Análisis de la Varianza para número de nódulos por planta .....	33
Cuadro 8. Prueba múltiple de medias Tukeyal 1% para número de nódulos .....	34
Cuadro 9. Análisis de la Varianza para peso seco de nódulos.....	36
Cuadro 10. Prueba múltiple de medias Tukeyal 1% para peso seco de nódulos .....	37
Cuadro 11. Análisis de la Varianza para materia seca por planta .....	39
Cuadro 12. Prueba de medias Tukeyal 1% para materia seca por planta.....	39
Cuadro 13. Análisis de la varianza para Rendimiento de grano en kg/ha .....	41
Cuadro 14. Prueba de medias Tukey al 1% para Rendimiento de frijol en quilogramos por hectárea (kg/ha) .....	42
Cuadro 15. Presupuesto parcial por hectárea para cada uno de los tratamientos evaluados .....	45
Cuadro 16. Relación beneficio costo encontrada para cada uno de los tratamientos evaluados .....	46
Cuadro 17. Análisis de dominancia aplicado a los tratamientos evaluados .....	47
Cuadro 18. Tasa de Retorno Marginal de los Tratamientos no dominados .....	48
Cuadro 19. Cantidad de nutrientes disponibles en el suelo en mg/L según análisis de suelo realizado .....	56
Cuadro 20. Promedio de tratamientos comparados, de la variable peso de la materia seca de 10 plantas muestreadas a los 55 días de la siembra .....	56
Cuadro 21. Características Agronómicas y producción de materia seca en frijol inoculado con biofertilizantes.....	56

Cuadro 22. Rendimientos obtenidos en la validación técnica de inoculación en frijol en El Salvador .....	57
Cuadro 23. Rendimientos obtenidos en la validación técnica de inoculación en frijol en Panamá .....	57
Cuadro 24. Rendimientos obtenidos en la validación técnica de inoculación en frijol en Costa Rica .....	57
Cuadro 25. Promedio de tratamientos comparados de la variable peso promedio de nódulos de 10 plantas a los 56 días de la siembra .....	58
Cuadro 26. Costo de producción para una hectárea de frijol utilizando fertilizantes químicos y el manejo agronómico aplicado en el ensayo experimental .....	58
Cuadro 27. Costo de producción para una hectárea de frijol utilizando biofertilizante y con el mismo manejo agronómico aplicado en el ensayo experimental .....	59
Costo 28. Costo de producción para una hectárea de frijol sin la utilizando de biofertilizante y fertilizante químico utilizando el mismo manejo agronómico aplicado en todo el ensayo experimental.....	60
Cuadro 29. Costos de producción por rubro por hectárea de frijol para cada uno de los tratamientos evaluados .....	61
Cuadro 30. Respuesta del cultivo de frijol la fertilización biológica con <i>Rhizobium etlli</i> resistente a diazinón.....	61
Cuadro 31. Valores P del análisis estadístico del rendimiento de grano, nodulación (escala visual 1-9), pesos secos del follaje (PSF), nódulos (PSN) y raíces (PSR) de genotipos de frijol común inoculados con un inoculante mezcla de las cepas de <i>Rhizobium</i> CIAT 632 y CIAT 899. Ensayo en Camas, Zamorano, Honduras 2014.....	62
Cuadro 32. Comparación de medias para la variable número de nódulos de 10 plantas, con y sin inoculante en las localidades de Chimaltenango y Patzicia.....	62
Cuadro 33. Efecto de la inoculación de porotos verdes (cv. Summit) sobre aspectos productivos y de fijación de nitrógeno. Promedio temporadas 2000 y 2001. Suelo aluvial de Chile central.....	62
Cuadro 34. Promedios y Pruebas de significación para altura de planta en la fijación de nitrógeno por cepas de <i>Rhizobiums</i> pp. En el cultivo de fréjol voluble ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) bajo invernadero. Cutuglagua-Pichincha .....	63

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de campo con su debida aleatorización de tratamientos.....	26
Figura 2. Numero de nódulos por planta en la localidad de Aldea la Brea, Quesada, Jutiapa. Guatemala 2015.....	35
Figura 3. Peso seco de nódulos en la localidad de Aldea la Brea, Quesada, Jutiapa. Guatemala 2015.....	38
Figura 4. Peso materia seca por planta en la localidad de Aldea la Brea, Quesada, Jutiapa. Guatemala 2015.....	40
Figura 5. Rendimiento de frijol en kg/ha obtenidos en la localidad de Aldea la Brea, Quesada, Jutiapa. Guatemala 2015.....	43
Figura 6. Relación beneficio/costo en la producción de frijol kg/ha por tratamiento.....	47
Figura 7. Cepas de Rhizobium utilizadas en el ensayo.....	64
Figura 8. Dosis de Rhizobium utilizadas en el ensayo.....	64
Figura 9. Dosis de Fertilizante utilizada en el ensayo en el tratamiento con N.....	65
Figura 10. Ensayo experimental 12 días después de su establecimiento.....	65
Figura 11. Proceso de etiquetado.....	66
Figura 12. Proceso de etiquetado.....	66
Figura 13. Fertilización del material experimental con N.....	67
Figura 14. Fertilización del material experimental con N.....	67
Figura 15. Control químico de Plagas.....	68
Figura 16. Control químico de Plagas.....	68
Figura 17. Frijol en floración.....	69
Figura 18. Frijol en floración.....	69
Figura 19. Unidad experimental tratada con 1kg de R. etli y R. tropici.....	70
Figura 20. Extracción de planta para conteo de nódulos.....	70
Figura 21. Plantas extraídas para conteo de nódulos.....	71
Figura 22. Efectos de la biofertilización en la producción de nódulos.....	71
Figura 23. Resultado de análisis de suelo realizado en el área experimental.....	72

# EFFECTO DE *Rhizobium etli+tropici* SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRIJOL, VARIEDAD ICTA PATRIARCA; EN QUESADA, JUTIAPA.

## RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en Aldea la Brea, Municipio de Quesada, Departamento de Jutiapa. Consistió en evaluar el efecto de *Rhizobium tropici* y *Rhizobium etli* como fuente de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L*). El material experimental utilizado fue la variedad de frijol ICTA Patriarca. Se evaluaron los tratamientos 0.40, 0.60 0.80 y 1 kg/ha de *Rhizobium*, 80 kg N/ha y testigo absoluto, bajo la estructura del diseño de bloques completos al azar. Las variables estudiadas fueron: número de nódulos por planta, peso seco de nódulos, materia seca por planta y rendimiento de grano en kilogramos por hectárea. Los resultados de la comparación de medias determino que para la variable respuesta número de nódulos, el tratamiento con 1 kg/ha de *Rhizobium* superó a todos los tratamientos. Se formaron tres grupos para la variable peso seco de nódulos, donde el grupo A está conformado por los tratamientos 1, 0.80, 0.60 kg/ha de *Rhizobium* y testigo absoluto los cuales son estadísticamente iguales, el tratamiento 0.40 kg/ha de *Rhizobium* produjo una media de 0.60 gramos, superando únicamente al tratamiento con 80 kg/ha de nitrógeno. Para la variable materia seca por planta y rendimiento de frijol en kg/ha los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento 80 kg de nitrógeno por hectárea fue superior a los tratamientos con *Rhizobium* y testigo absoluto. Por medio del análisis de tasa marginal de retorno realizada se determino que el tratamiento 0.60 kg/ha de *Rhizobium* genera la mayor tasa con un 1688%, seguido por el tratamiento 0.80 kg/ha de *Rhizobium* con una tasa de 790%.

## EFFECT OF *Rhizobium etli+tropici* ON THE BEAN YIELD, ICTA PATRIARCH VARIETY; IN QUESADA, JUTIAPA.

### SUMMARY

The research was carried out in La Brea Village, Quesada, Jutiapa. It consisted of evaluating the effect of *Rhizobium tropici* and *Rhizobium etli* as a nitrogen fertilization source on bean yield (*Phaseolus vulgaris* L). The experimental material used was the Patriarca ICTA bean variety. The treatments were 0.40, 0.60 0.80 and 1 kg/ha of *Rhizobium*, 80 kg N/ha and absolute control, under the structure of the complete randomized block design. The variables were: number of nodules per plant, dry weight of nodules, dry matter per plant and grain yield in kilograms per hectare. The results of the means comparison determined that for the variable response nodules number, treatment with 1 kg/ha of *Rhizobium* exceeded all treatments. Three groups were formed for the dry weight variable nodule, where group A is composed of treatments 1, 0.80, 0.60 kg/ha of *Rhizobium* and absolute control, which are statistically the same, the treatment 0.40 kg/ha of *Rhizobium* produced one average of 0.60 grams, surpassing only the treatment with 80 kg/ha of nitrogen. For the dry matter per plant and bean yield in kg/ha the results showed that the treatment 80 kg of nitrogen per hectare was superior to the treatments with *Rhizobium* and absolute control. By means of the analysis of the marginal rate of return, it was determined that the treatment 0.60 kg/ha of *Rhizobium* generates the highest rate with 1688%, followed by the treatment 0.80 kg/ha of *Rhizobium* with a rate of 790%.

## I. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L*) es una especie de origen americano. México, Guatemala y Perú son los más posibles centros de origen, o al menos como los centros de diversificación primaria (De León, 2010).

Guatemala es uno de los dos países que se destacan en la región centroamericana, por figurar entre los 30 países con más producción de frijol en el mundo, Nicaragua ocupa la posición número 20 y Guatemala ocupa la posición número 29 (MAGA, 2004).

El consumo per cápita de frijol por en Guatemala es de 7.2 kg./persona/año, siendo la superficie cosechada durante el año 2014 de 347,200 hectáreas, obteniéndose una producción de 225,736,515 kilogramos, lo cual equivale a un rendimiento de 649.94 kilogramos/ha, superando el rendimientos obtenido en el año agrícola 2011/2012 (BANGUAT, 2014).

Actualmente el agricultor Guatemalteco para obtener un buen rendimiento en el cultivo de frijol necesita utilizar fertilizantes químicos nitrogenados, los cuales elevan los costos de producción e influyen en la degradación de los suelos lo cual obliga a los agricultores a depender en gran medida de fertilizantes químicos, afectando la economía del productor y del consumidor, para contrarrestar dicha problemática es necesario implementar nuevas alternativas que permitan al agricultor obtener buenos rendimientos con menos costos, ocasionando el menor daño posible al recurso suelo y el ambiente, que permitirá contar con un cultivo sostenible, actualmente la mejor alternativa es la utilización de la fertilización biológica.

Por esta razón se evaluaron 4 tratamientos con diferentes niveles de *Rhizobium se* utilizaron cepas de *R. etli* y *R. tropici*, comparados con un tratamiento con nitrógeno (46-00-00) y un testigo absoluto.

Estas bacterias, al establecer una relación simbiótica con las leguminosas, tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y convertirlo en nitrógeno amoniacal, el cual puede ser utilizado por la planta y con ello satisfacer los requerimientos de N (Pineda, 1992)

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 IMPORTANCIA DEL FRIJOL

Beaver y Rosas (2002), mencionan que “El frijol (*Phaseolus vulgaris L*), es la fuente principal de proteína para las familias de bajos ingresos en Centro América y el Caribe”. Razón por la cual es fundamental en la dieta diaria de las familias rurales de Guatemala, la composición nutricional del frijol cuenta con un 23% de proteínas y 56% de carbohidratos, así como también, contenidos de grasa, fibras, vitaminas y minerales, estas características lo convierten en una excelente alternativa nutricional para el desarrollo fisiológico, intelectual, físico y emocional de las comunidades, mediante la ingesta de una alimentación balanceada.

Guatemala es uno de los dos países que se destacan en la región centroamericana, por figurar entre los 30 países con más producción de frijol en el mundo, Nicaragua ocupa la posición número 20 y Guatemala ocupa la posición número 29, la población Guatemalteca consume principalmente frijol de color negro, sin embargo en Nicaragua se consume frijol rojo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación-MAGA-, 2004).

El promedio de consumo de frijol por habitante en Guatemala es de 7.2 kg./persona/año, siendo la superficie cosechada durante el año 2014 de 347,200 hectáreas, obteniéndose una producción de 225,736,515 kilogramos, lo cual equivale a un rendimiento de 649.94 kilogramos/ha, superando el rendimientos obtenido en el año agrícola 2011/2012 en el cual se contaba con un área cosechada de 339,200 hectáreas, obteniendo una producción a nivel nacional de 213,805,890 kilogramos, registrando un rendimiento de 631.81 kilogramos por hectárea (Banco de Guatemala-BANGUAT-, 2014).

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL.-(2010), Jutiapa obtuvo una producción de frijol para al año 2013 de 29,058,412.05 kilogramos, dicha producción fue superada en el año 2014, registrándose una producción de 29,838,788.55 kilogramos, contando con un incremento de 780,376.50 kilogramos de la producción a nivel departamental, Jutiapa contribuye en un 13% de la producción

nacional siendo superado únicamente por Petén con el 27%, el 69.3% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en 7 departamentos: Petén, Jutiapa, Quiché, Chiquimula, Huehuetenango, Jalapa y Santa Rosa.

Guatemala aparte de consumir la producción nacional, se abastece de importaciones procedentes de los Estados Unidos, Canadá y China, para el año 2013 Guatemala importó 2,202.00 toneladas métricas de frijol negro equivalente a 2,201,779.8 kilogramos, Un alto porcentaje de estas importaciones es utilizado por la agroindustria nacional en la elaboración de frijoles enlatados (BANGUAT, 2014).

En el cuadro 1 se detalla la producción histórica de frijol en Guatemala observándose un alza en la superficie cultivada para el 2014.

Cuadro 1. Comportamiento histórico del frijol en Guatemala

Año	Área Cosechada (ha)	Producción en kilogramos (ha)	Rendimiento (kg/ha)
2008/2009	328,000.00	200, 036,271.65	609.94
2009/2010	336,500.00	198, 510,133.37	589.94
2010/2011	336,756.00	209, 562,109.88	622.21
2011/2012	339,200.00	213, 805,890.00	631.76
2012/2013	345,400.00	219, 832,560.00	636.30
2013/2014	347,200.0	225, 736,515.00	649.94

(BANGUAT, 2014).

En el cuadro 2 se detalla la producción de frijol a nivel departamental, observándose la participación que tiene el departamento de Jutiapa en la producción nacional.

Cuadro 2. Porcentaje de participación por departamento en la producción nacional de frijol.

Departamento	Producción (kg) Año 2013	Producción (kg) Año 2014	% participación
Peten	59,328,793.80	60,922,134.45	27
Jutiapa	29,058,412.05	29,838,788.55	13.2

Jalapa	13,941,423.90	14,315,841	6.3
Chiquimula	21,805,955.55	22,391,306.1	9.9
Zacapa	5,309,469	5,452,045	2.4
Izabal	4,394,787.75	4,512,821.40	2
Alta Verapaz	10,743,970.95	11,032,487.55	4.9
Baja Verapaz	5,788,921.05	5,944,405.50	2.6
Quiché	11,132,659.35	11,431,629.45	5.1
Huehuetenango	9,001,872.45	9,243,666.45	4.1
San Marcos	3,312,396	3,401,387.10	1.5
Retalhuleu	263,973.6	271,063.80	0.1
Suchitepéquez	196,662.15	201,934.35	0.1
Quetzaltenango	1,083,209.85	1,112,297.85	0.5
Totonicapán	1,658,379.6	1,702,920.6	0.8
Sololá	1,638,699.75	1,682,695.35	0.7
Santa Rosa	14,841,106.65	15,239,703.15	6.8
Escuintla	1,294,643.25	1,329,412.50	0.6
Chimaltenango	8,364,390.75	8,589,004.65	3.8
Sacatepéquez	1,743,416.55	1,790,230.05	0.8
El Progreso	5,972,629.95	6,112,570.5	2.7
Guatemala	8,957,149.65	9,197,671.05	4.1

---

(BANGUAT, 2014).

En el cuadro 3 se detalla la superficie cosechada de frijol a nivel centroamericano, se observa que Guatemala ha sostenido un leve crecimiento, aunque Nicaragua que siempre ha sido el mayor productor de frijol en Centroamérica, no ha mostrado este tipo de crecimiento.

Cuadro 3. Superficie cosechada de frijol en Centroamérica 2005-2010 (Miles de Hectáreas)

País	Años					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Costa Rica	16.3	14	12	11.3	17.2	22.8
El Salvador	85.7	87.4	94.6	103.3	104.2	102.5
Guatemala	218.8	220.5	224	229.6	231	231
Honduras	76.3	77.3	79.5	88.1	104.2	104.3
Nicaragua	248.8	256.3	234.2	235.7	233.2	245.6
Panamá	12.4	11.5	11	11.6	10.8	2.7
Total	658.3	667	655.3	679.6	700.6	708.9

(CEPAL, 2010).

En el cuadro 4 se detalla la producción de frijol (en miles de toneladas) a nivel de Centro América, se puede observar que Nicaragua se ha mantenido ligeramente arriba de Guatemala.

Cuadro 4. Producción de frijol en Centroamérica 2005-2010 (Miles de Toneladas)

País	Años					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Costa Rica	10.10	11.10	8.40	7.80	8.90	12.80
El Salvador	65.90	91.80	100.50	92.80	81.10	72.10
Guatemala	187.10	190.8	196.60	198.50	195.80	198.70
Honduras	63.20	60.70	68.30	113.90	92.20	88.70
Nicaragua	191.81	89.30	177.50	175.10	180.60	210.50
Panamá	4.60	3.30	3.60	3.00	3.20	3.60
Total	522.71	447.00	544.90	591.10	561.80	583.40

(CEPAL, 2010).

## **2.2 HISTORIA, BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE LA PLANTA DEL FRIJOL**

### **2.2.1 Historia**

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L*) es una especie de origen americano. México, Guatemala y Perú son los más posibles centros de origen, o al menos como los centros de diversificación primaria. Hallazgos arqueológicos en sus posibles centros de origen México, Centroamérica y Sudamérica indican que el frijol era conocido por lo menos unos 5,000 años antes de la era cristiana. Desde el punto de vista taxonómico el frijol es el prototipo del genero *Phaseolus*. Su nombre científico completo fue designado por Lineo en 1753 como (*Phaseolus vulgaris L*). El género *Phaseolus* pertenece la tribu *Phaseolae*, Subtribu *Phaseolinae* de la Familia *Leguminoseae* y Subfamilia *Papilionoidae* dentro del orden *Rosales*. El género *Phaseolus* incluye aproximadamente 35 especies, de las cuales cuatro se cultivan. (De León, 2010).

Las cuatro especies dentro del género *Phaseolus* que se cultivan son:

1. *Phaseolus vulgaris L.*
2. *Phaseolus lunatus L.*
3. *Phaseolus coccineus L.*
4. *Phaseolus acutifolius A. Gray var. Latifolius*

Freeman (De León, 2010).

### **2.2.2 Descripción Botánica**

La planta de frijol es anual, herbácea, tiene hábitos de crecimiento variado, dentro de los que se puede mencionar el de crecimiento determinado (enano) ó arbustivo (por lo general, permanecen erectas como arbolitos), en Guatemala generalmente se le conoce como frijol de suelo (Cabrera y Castillo, 2010).

#### **a. Raíz**

La planta de frijol presenta nódulos distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical. Estos nódulos tienen forma poliédrica, un diámetro aproximado de 2 a 5 milímetros y son colonizados por la bacteria del género *Rhizobium*,

las cuales fijan nitrógeno atmosférico, que contribuye a satisfacer los requerimientos de este elemento en la planta (Cabrera y Castillo, 2010).

## **b.Tallo**

El tallo es identificado como el eje central de la planta, está formado por una sucesión de nudos y entrenudos, es herbáceo, con sección cilíndrica o levemente angular; puede ser erecto, semiprostrado o prostrado, según el hábito de crecimiento de la variedad (Cabrera y Castillo, 2010).

### **2.2.3 Ecología de la planta del frijol**

En Guatemala el frijol se puede sembrar en una gran diversidad de climas, la planta obtiene un buen desarrollo en alturas que van de 50 hasta 2,300 metros sobre nivel del mar, sin embargo debido a las variaciones muy amplias de clima en el estrato de producción mencionado, los problemas de producción son diferentes, lo cual se debe resolver previamente para asegurar el éxito del cultivo (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas-ICTA-, 1996).

## **2.3 PREPARACIÓN DEL TERRENO**

Una buena preparación del suelo provee las condiciones adecuadas para que las semillas del cultivo presenten buena germinación, se desarrolle con un excelente vigor y obtenga una excelente producción (Instituto Internacional de Cooperación para la agricultura-IICA-, 2009).

Las labores que determinan una buena preparación del terreno son:

**Limpia:** Esta labor consiste en la eliminación de toda la maleza existente en el terreno, utilizando machete o azadón, los productores normalmente la realizan en abril para eliminar la sombra y exponer el suelo a una máxima radiación solar con el objetivo de desinfectar el suelo de plagas, enfermedades y semillas de malezas (IICA, 2009).

**Basureo:** Consiste en el manejo del rastrojo que quedo en el terreno producto de la limpia realizada, algunos agricultores recogen el rastrojo para realizar barreras muertas

para evitar la erosión hídrica, mientras que algunos agricultores tienden a quemar los rastrojos (IICA, 2009).

Labranza: consiste en el uso del arado ya que al realizar algunos pases del mismo permite romper la parte compactada del suelo y darle mayor aireación para un mejor desarrollo de las raíces, la labranza del terreno se puede realizar utilizando maquinaria agrícola, bueyes o caballos, la labranza solamente se realiza en suelos planos o de baja pendiente (IICA, 2009).

## **2.4 SUELOS**

El frijol requiere de suelos profundos y fértiles, con buenas propiedades físicas, de textura franco limosa, aunque también tolera texturas franco arcillosas. Crece bien en suelos con pH entre 5,5 y 6,5, de topografía plana y ondulada, con buen drenaje (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO-, 2002).

## **2.5 TEMPERATURA**

La mayoría de las plantas de frijol común se desarrollan en un estrecho rango de temperaturas, para crecimiento es de 2 a 27°C, con un óptimo de 18°C, para desarrollo es de 10 a 27°C, con un óptimo de 15 a 20°C, bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que altas lo aceleran; temperaturas extremas disminuyen la floración y ocasionan problemas de esterilidad; temperaturas de 5°C o 40°C pueden provocar daños irreversibles; el rango de altitud para el cultivo es 0 a 2400 msnm (Ruiz, 1999).

## **2.6 PRECIPITACIÓN**

Una lluvia bien distribuida moderada se requiere (300-400 mm por ciclo de cultivo) pero el tiempo seco durante la cosecha es esencial. (Centro Internacional para la Biociencia en la Agricultura -CABI-, 1998).

La planta de frijol doméstico pertenece al género *Phaseolus* y especie vulgaris conocido botánicamente a nivel mundial como (*Phaseolus vulgaris L*) a continuación se describe su

clasificación taxonómica: Pertenece al reino Plantae, sub reino Embryobiontha, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsidae, subclase Rosidae, orden Fabales, familia fabaceae, genero Phaseolus y especie Vulgaris (Cronquist, 1981).

## **2.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RHIZOBIUM**

*Rhizobium* es un género de bacterias gram-negativo de perfil de suelo que pertenece a un grupo de bacterias fijadoras de nitrógeno que se denominan colectivamente rizobio, inducen en las raíces (o en el tallo) de las leguminosas la formación de estructuras especializadas, los nódulos, dentro de los cuales el nitrógeno gaseoso es reducido a amonio después de un proceso de infección inducido por la propia planta mediante la secreción de lectina, a las que aportan el nitrógeno necesario para que la planta viva y ésta a cambio le dé un lugar adecuado para poder sobrevivir. (Sawada, Kuykendall y Young, 2003).

Más específicamente, la condición de simbiosis viene dada por la formación de una molécula de transporte de oxígeno, equivalente a la hemoglobina, llamada Leghemoglobina. Sólo se puede sintetizar cuando los dos organismos se encuentran en simbiosis; por parte de la bacteria se sintetiza el grupo Hemo de dicha molécula, y por parte de la planta se sintetiza la apoproteína. Así, mediante la nueva molécula formada, se puede llevar a cabo el transporte de oxígeno necesario para el metabolismo de la bacteria y así poder fijar el nitrógeno requerido por la planta (Sawada, *et al.*, 2003).

El grupo de bacterias al que se conoce colectivamente como rizobios inducen en las raíces (o en el tallo) de las leguminosas la formación de estructuras especializadas, los nódulos, dentro de los cuales el nitrógeno gaseoso se reduce a amonio. Se estima que este proceso contribuye entre el 60-80% de la fijación biológica de nitrógeno, esta simbiosis aporta una parte considerable del nitrógeno combinado a la tierra y permite a las plantas leguminosas crecer sin fertilizantes nitrogenados y sin empobrecer los suelos (Cuadrado, Rubio y Santos, 2009).

Se estima que los rizobios no conocidos en el mundo representan un recurso biológico porque las leguminosas son uno de los grupos de plantas más grande y diverso y se encuentran distribuidas en distintos ecosistemas (Bécquer, 2004).

De acuerdo con la definición aceptada de especie en bacteriología, cada especie de rizobios consta de un grupo de cepas que comparten características que las distinguen como grupo de otros grupos de bacterias. El uso de técnicas moleculares ha provisto de una descripción más precisa para las especies, se considera que las cepas cuyas secuencias del gen 16S rRNA son similares en un 97% o más, probablemente pertenecen a la misma especie, el parecido de las secuencias de genes de 16S rRNA también constituyen la base principal para la descripción de los diferentes géneros de rizobios. En la taxonomía de *Rhizobium*, la hibridación de ADN-ADN y otros métodos han sido incluidos para definir especies dentro de cada género (Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno-CIFN-, 2001)

Hasta la fecha se han propuesto 6 géneros, que son: *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* y *Sinorhizobium*. Con base en las secuencias de genes de 16S rRNA, todos los rizobios definidos son miembros de la subdivisión  $\alpha$  de las Proteobacterias. En esta misma subdivisión se encuentran bacterias del género *Agrobacterium* que forman tumores en plantas. Los 6 géneros de los rizobios son 6 grupos filogenéticos entremezclados, los géneros *Azorhizobium* y *Bradyrhizobium*, son dos ramas separadas de los otros géneros de rizobia. Los géneros *Mesorhizobium* y *Sinorhizobium* son dos grupos distintos pero relacionados con los géneros *Allorhizobium* y *Rhizobium* (CIFN, 2001).

El género *Rhizobium* está compuesto de dos subramas: (1) las especies *R. galegae* y *R. huautlense* junto con *Allorhizobium* y tres especies de *Agrobacterium* forman la primera subrama; (2) el resto de las especies, incluyendo la especie tipo *R. leguminosarum*, y *Agrobacterium rhizogenes* forman la otra subrama. Hay bacterias no-simbióticas cercanamente relacionadas con cada uno de los géneros de rizobios. Las relaciones entre las bacterias simbióticas y las no-simbióticas y el impacto que estas relaciones puedan tener sobre la taxonomía de rizobios, se discutirá más adelante (CIFN, 2001).

En los casos de *R. tropici*, *R. etli*, *R. huautlense* y *M. amorphae*, se utilizó el análisis de enzimas metabólicas (MLEE) y la distancia genética (determinada a partir de la proporción de locenzimáticos con diferente movilidad en electroforesis) de 0.5 se consideró como uno de los criterios para definir a dichas especies. Valores de distancia genética menor que 0.5 se encuentran entre cepas dentro de una misma especie, por ejemplo en *R. leguminosarum*, y mayor que 0.5 entre diferentes especies dentro del género *Mesorhizobium* (CIFN, 2001).

A continuación se presentan las descripciones de los géneros definidos con sus respectivas especies: Género *Allorhizobium*. Este género contiene sólo una especie, *A. undicola*. Se trata de bacilos Gram negativos de 0.5-0.7 x 2.0-4.0 µm que forman colonias de 0.5-3.0 mm de diámetro después de 1-2 de incubación en YMA(CIFN, 2001).

Género *Azorhizobium*. Bacilos de 0.5-0.6 x 1.5-2.5 µm. Se mueve en medio sólido gracias a flagelos peritricales y en medio líquido con un flagelo lateral. Las colonias son circulares, translúcidas, gomosas y tienen un color cremoso. Crece tan rápido como *Rhizobium* (las colonias miden más de 2 mm de diámetro después de 2 días de incubación) pero produce álcali como *Bradyrhizobium* en YMA. Hay una sola especie descrita en este género, *A. caulinodans*. Esta bacteria fue aislada de nódulos de los tallos de *Sesbaniarostrata* que crece en Senegal (CIFN, 2001).

Género *Brady rhizobium*. Estas bacterias son bacilos de 0.5-0.9 x 1.2-3.0 µm. Se mueven con un flagelo polar o subpolar. Este género consiste de cepas de lento crecimiento, productoras de álcali. Las colonias son circulares, rara vez translúcidas, blancas y convexas con un diámetro menor a 1 mm entre 5 y 7 días de incubación. Las tres especies definidas en este género, *B. japonicum* (especie tipo), *B. elkanii* y *B. liaoningense* pueden nodular a la soya (*Glycinemax*). *B. japonicum* tiene una amplia gama de plantas huéspedes, incluyendo muchas leguminosas tropicales y algunas de zonas templadas (CIFN, 2001).

Género *Mesorhizobium*. Las bacterias de este género son bacilos que miden 0.41-0.9 x 1.2-3.0  $\mu\text{m}$ . Generalmente son pleomórficas en condiciones adversas de crecimiento, tales como alta concentración de sales. Se han reportado flagelos peritricales o un flagelo polar o subpolar. Las colonias en YMA son circulares, convexas, semitranslúcidas y mucilaginosas; miden 2-4 mm de diámetro después de 5 días de incubación a 28°C para algunas especies o menos de 1mm después de 7 días para otras. Se separó a este género de *Rhizobium* debido a su posición filogenética única, su crecimiento lento o moderado y su producción de ácido. Hay siete especies en este género: *M. loti* (especie tipo), *M. amorphae*, *M. ciceri*, *M. huakuii*, *M. mediterraneum*, *M. plurifarum* y *M. tianshanense*. La especie tipo, *M. loti*, fue transferida del género *Rhizobium*. Entre las siete especies definidas, *M. amorphae* y *M. huakuii* tienen plásmido simbióticos y el resto tiene los genes simbióticos en sus cromosomas (CIFN, 2001).

Género *Rhizobium*. Son bacilos que miden 0.5-1.0x1.2-3.0  $\mu\text{m}$ . Se mueven por medio de 1-6 flagelos que pueden ser peritricales o subpolares. Las colonias generalmente son blancas o color beige, circulares, convexas, semitranslúcidas u opacas y mucilaginosas; generalmente miden 2-4 mm de diámetro a los 3-5 días de incubación en YMA. Hay nueve especies definidas: *R. leguminosarum* (especie tipo), *R. etli*, *R. galegae*, *R. gallicum*, *R. giardinii*, *R. hainanense*, *R. huautlense*, *R. mongolense* y *R. tropici*. Nodulan diferentes especies de leguminosas en zonas templadas o tropicales, se han aislado cepas de *R. etli* que carecen de genes simbióticos *R. etli* es importante en México, en particular, y en América Latina, en general, ya que esta especie predomina en los nódulos del frijol común (CIFN, 2001).

Género *Sinorhizobium*. Son bacilos que miden 0.5-1.0x1.2-3.0  $\mu\text{m}$ . El nombre genérico *Sinorhizobium* fue propuesto por primera vez para designar a las bacterias de rápido crecimiento aisladas en China que nodulan a la soya. Posteriormente se separó este género de *Rhizobium* principalmente debido a las diferencias en las secuencias de genes 16S rRNA sin embargo no hay características fenotípicas específicas conocidas que distingan estos dos géneros. Las ocho especies dentro de este género crecen rápidamente y producen ácido en medio YMA. Se han identificado tres copias del gen ribosomal en ellas. Plásmidos grandes e incluso megaplásmidos son comunes en estas

especies y en algunos casos los genes simbióticos están localizados en un megaplásmido. La especie tipo, *S. meliloti* fue transferida del género *Rhizobium* y ha sido estudiada extensamente. Además de la especie tipo, otras especies de este género son: *S. arboris*, *S. fredii*, *S. kostiense*, *S. medicae*, *S. saheli*, *S. terangae* y *S. xinjiangense* (CIFN, 2001).

Entre los métodos sugeridos para evaluar el grado de la simbiosis y sus posibles efectos sobre la fijación de N<sub>2</sub>, se encuentran la cantidad de materia seca (MS) producida y cantidad de nódulos presentes en la zona radicular, masa nodular, cantidad de nitrógeno presente en el tejido y otros métodos utilizados como: la actividad de la nitrogenasa y el uso de técnicas isotópicas <sup>15</sup>N (Hardarson y Craig, 2003).

Según Rodríguez (2009) las plantas de frijol tratadas con biofertilizante (*Rhizobium*) presentan un porcentaje promedio de 52 nódulos por planta, de tamaño regular con coloración que va de rosada, a muy rosado, en contraste con las plantas que no son tratadas con *Rhizobium*.

La altura de planta incide significativamente en la cantidad de nitrógeno absorbido por la planta de frijol al inocular la semilla con *Rhizobium*, esto explicado por el hecho de que existe una respuesta positiva de inoculación con bacterias en el rendimiento y desarrollo de la planta, (Aguirre, Trejo, Acosta, Cadena y Peña, 2005).

Para obtener una respuesta positiva de inoculación bacteriana en el desarrollo y rendimiento vegetal es necesario que la población bacteriana alcance una biomasa significativa en la raíz en cuanto a nodulación (Aguirre, Trejo y Acosta, 1999). Sin embargo Farrera, Almaraz, Rodriguez y Espinoza (1990), mencionan que la variedad de frijol juega un papel importante en el mecanismo de reconocimiento de la planta hacia la bacteria, mostrando mayor afinidad con ciertas cepas.

## 2.8 RESULTADOS DE INVESTIGACIONES REALIZADAS SOBRE RHIZOBIUM

Cruz (2014), en su investigación sobre la validación de diferenciales de frijol común (*Phaseolous vulgaris L*) para evaluar la respuesta a la inoculación con cepas de *Rhizobium* como resultado solo encontró diferencias significativas entre los genotipos en el rendimiento de grano pero no se encontraron diferencias en las variables de la nodulación y los pesos secos de follaje, nódulos y raíces (Ver anexo, cuadro 31) Los valores de nodulación de la escala 1-9, variaron de 4.3 a 8.3 con un promedio de 6.1, lo que sugiere una nodulación muy buena. Las diferencias en rendimiento de grano se debieron a las diferencias de los genotipos, encontrándose algunos genotipos tanto andinos como mesoamericanos con rendimiento superior a otros.

En 2014, Casa realizó investigación sobre la evaluación de la fijación de nitrógeno de *Rhizobium* spp en invernadero para arveja (*Pisum sativum*), Chocho (*Lupinus mutabilis*), Frijol (*Phaseolus vulgaris L*), Haba (*Vicia faba*), Cutulagua, Pichincha, el cual obtuvo los siguientes resultados, el análisis de varianza para altura de planta, identificó diferencias estadísticas al 1 % para tratamientos, el promedio de alturas fue de 265.25cm/planta, lo cual muestra alta significancia, La prueba de Tukey al 5 %, registró cuatro rangos de significación. En el primer rango se ubicaron los tratamientos UMR 1481(*Rhizobium etli*), Testigo nitrogenado, R-FR-RA-53 (*Rhizobium tropici*) y UMR 1899(*Rhizobium tropici*), lo cuales presentan medias de 337.63, 337.43, 330.47 y 307.50 cm respectivamente

Para la comparación del T0 (testigo sin nitrógeno) versus cepas, la DMS al 5%, encontró dos rangos de significación ubicando en primer lugar a los tratamiento inoculados con 262.66 cm de promedio por planta, demostrando que la inoculación con *Rhizobium* genera un efecto positivo en el crecimiento de la planta de frijol, (ver cuadro, anexo cuadro 34). (Casa, 2014).

En el análisis de varianza para el peso fresco del follaje. Se observan diferencias altamente significativas entre tratamientos y comparaciones ortogonales; además no existe ninguna significancia estadística para repeticiones. El coeficiente de variación fue de 4.59% y el promedio de peso fresco fue de 122.71 gramos por planta. (Casa, 2014).

En la prueba de Tukey al 5%, para el factor cepas se observa nueve rangos designificación, de los cuales, el primer rango corresponde a los tratamientos UMR 1481, (R-FR-RA-53) y TN (Testigo nitrogenado), con 155.33, 149,73 y 145.30 gramos respectivamente, demostrando que el tratamiento que produjo mayor biomasa foliar fresca fue el tratamiento UMR 1481 correspondiente a (*Rhizobium etli*). Al realizar la prueba de tukey al 5% para la variable peso seco de follaje se diferenciaron ocho rangos de significación. La mejor cepa (UMR 1481) registrando el mejor promedio con 33.40 gramos por planta compartió el mismo rango con los tratamientos TN (testigo nitrogenado), R-FR-RA-53 (*Rhizobium tropici*) y UMR1899 (*Rhizobium tropici*). (Casa, 2014).

El análisis de varianza para el número de nódulos, identificó diferencias altamente significativas para el factor cepas/testigos y comparaciones ortogonales, El coeficiente de variación fue de 4.80% y el promedio de nódulos fue de 558 nódulos por planta. (Casa, 2014).

La prueba de Tukey al 5% registró seis rangos de significación. En el primer rango se ubicaron los tratamientos (R-FR-HR-44), (UMR 1481), (R-FR-QG-63) y (R-FR-RA-53), con medias de 844, 814, 798 y 771 nódulos respectivamente. Tanto el testigo absoluto (T0) como el testigo nitrogenado (TN), se ubicaron en el último rango con promedios de 7 y 2 nódulos respectivamente los cuales fueron significativamente dominados por los tratamientos con *Rhizobium*. (Casa, 2014).

Con respecto al peso seco de nódulos, a través del análisis de varianza, también fue posible detectar diferencias altamente significativas para tratamientos y comparaciones. El coeficiente de variación de 10.01% es aceptable, y el promedio general fue de 1.73 gramos por planta. (Casa, 2014).

Mediante la prueba de Tukey al 5%, se establecieron nueve rangos, ocupando el primer rango se encuentran las cepas (R-FR-RA-53), (UMR 1481), (UMR 1899) y C7 (R-FR-HR-44), con valores de 2.93, 2.92, 2.83 y 2.68 gramos, respectivamente; tanto el testigo

absoluto (T0) como el testigo nitrogenado (TN) forman parte del último rango con 0.02 y 0.0014 gramos, respectivamente (Casa, 2014).

Urzúa (2005), en su investigación realizada sobre los beneficios de la fijación simbiótica de nitrógeno en el país de Chile, como resultado se obtuvieron efectos claros de la inoculación sobre la producción de vainas comerciales en frijol (agroindustria). La aplicación de N-fertilizante (70 kg/ha) logró alcanzar al tratamiento con adición de rizobio, el nitrógeno fijado en las vainas fue superior cuando se usó inoculante. Los nódulos del testigo fueron abundantes, pero poco efectivos. Se aprecia, además, el efecto deprimente del N fertilizante sobre la fijación de N y sobre la nodulación. Los ureidos, por su parte, se vieron favorecidos por el rizobio y por la fertilización (ver anexo, cuadro 33).

Se determinó que la fijación global de nitrógeno actual y potencial ahorrado por el sector silvoagropecuario chileno, relacionadas con la FSN de las principales leguminosas cultivadas en Chile es de 68.020 toneladas/año de nitrógeno aproximadamente, el ahorro anual de N fertilizante equivalente posible de alcanzar serían unas 98.655 toneladas, para que este ahorro se materialice, un 20% de la superficie agrícola chilena debería adoptar el sistema de producción sustentable.

El consumo promedio histórico de N-fertilizante, en la última década en Chile, ha sido de 230.500 toneladas/año de N, aproximadamente. Si las leguminosas no fijaran nitrógeno y hubiera que fertilizarlas, se consumirían adicionalmente alrededor de las 68.000 toneladas/año de N, siendo el consumo total actual equivalente a unas 298.500 toneladas/año de N (Urzúa, 2005).

En relación al ahorro anual, expresado monetariamente en dólares (US\$), debido al mecanismo natural de la FSN en Chile, se puede estimar que fluctuaría entre 127 y 178 millones de dólares, aproximadamente, Esta evaluación del ahorro de fertilizante nitrogenado debido a la simbiosis no ha considerado los costos de almacenamiento,

transporte, ni aplicación de fertilizantes, por lo que hace comparativamente más atractivo el uso de estas técnicas (Urzúa, 2005).

Elías (2000), en su investigación sobre la cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno de cuatro cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris L*), asociado al maíz (*Zea Mays L.*) y en monocultivo, utilizando N como isotopo marcador, en el departamento de Jutiapa, como resultado concluyo que no existe una relación directa entre el sistema de cultivo (asociado o monocultivo) con la capacidad de fijación biológica de Nitrógeno de los cultivares de frijol evaluados, así como tampoco en ninguna de las otras variables que se analizaron, determinando que los cultivares de frijol ICTA- Ostúa, Santa Gertrudis y JU-937 demostraron tener el mismo potencial de fijación de Nitrógeno atmosférico entre ellos y solamente el material nativo Rabia de gato mostró ser inferior a ellos.

Delas variables evaluadas solamente el peso seco de raíces y el número de nódulos demostraron diferencias en los cuatro muestreos, sin embargo no se encontró una correlación directa entre estas variables y la capacidad de fijación biológica de Nitrógeno atmosférico. (Elías, 2000).

Haciendo un análisis se pudo ver que aquellos cultivares que desde el inicio mostraron un mayor desarrollo radicular expresado por la materia seca que se obtuvo en los muestreos, así como un mayor número de nódulos, mostraron de igual manera una mayor capacidad para fijar nitrógeno atmosférico en su sistema y por ende un incremento en el rendimiento de grano (Elías, 2000).

En 2013, Paredes en su investigación sobre la fijación biológica de Nitrógeno en leguminosas y gramíneas, evaluó el rendimiento de soja con y sin inoculación con *Bradyrhizobium*, como resultado de la investigación detectó que la acumulación de materia seca aérea y de masa radical es mayor en los casos de soja inoculada que en aquellos que no se ha realizado ningún tipo de biofertilización, estimando el aporte de nitrógeno proveniente por FBN, el aporte de los nódulos por inoculación es del 22 al

52%, se realizaron curvas de acumulación de materia seca entre cultivos de soja no inoculada (testigo) y otro tratamiento con *Bradyrhizobium*, observándose una separación en la curva notándose una diferencia entre la acumulación de N en los cultivos inoculados y los que no a partir del estado V5 de la planta.

La respuesta al rendimiento de granos se correlaciona con la biomasa nodular en forma positiva y en forma negativa con el número de nódulos. Esto indica que con pocos nódulos grandes (en general más eficientes) existe mayor probabilidad de alto rendimiento y en cambio son escasas las posibilidades de conseguirlo cuando las plantas tienen muchos nódulos chicos (de moderada eficiencia o ineficientes). Se determinó que el perfil ideal de nodulación eficiente en soja se estima en no más de 40 nódulos por planta y no menos de 500 mg de biomasa de nódulo por planta (Paredes, 2013).

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) es uno de los principales granos básicos que se producen y consumen en Guatemala, para el 2014 se contaba con una superficie cosechada de 347,200.00 hectáreas y una producción de 225,736,515.00 kilogramos, lo cual equivale a un rendimiento de 649.94 kilogramos/ha (BANGUAT, 2014).

Los cambios climáticos, el aumento del índice poblacional, la reducción del área para la producción agrícola y el alto costo de insumos, han influido para que el cultivo de frijol en Guatemala tenga una reducción en el rendimiento promedio por área de 0.8 a 0.7 toneladas métricas por hectárea (MAGA, 2004).

Motivo por el cual es necesaria la investigación agrícola sobre nuevas tecnologías para el manejo del cultivo, ya que una de las principales limitantes para la producción es el alto costo de los insumos. En Guatemala la siembra de frijol está desarrollada en zonas marginales y con productores de escasos recursos los cuales en muchas ocasiones no cuentan con suelos fértiles y con capital para invertir en fertilizantes y agroquímicos lo cual se evidencia en los bajos rendimientos obtenidos, tal es el caso de los productores del municipio de Quesada.

Los fertilizantes químicos especialmente los nitrógenos en los últimos años se han convertido en insumos esenciales en la producción agrícola contribuyendo significativamente a la problemática ambiental y económica a la que se enfrenta el agricultor, los fertilizantes nitrogenados son uno de los principales causantes del deterioro ambiental, pues causan la contaminación de cuerpos de aguas, la erosión y la acidificación de los suelos, sin embargo se cuenta con tecnología agrícola a la cual no se le ha dado la debida importancia, siendo esta la utilización de biofertilizante, el cual puede ayudar a contrarrestar los problemas a los que se enfrenta al agricultor en sus sistemas de producción.

La utilización de bacterias fijadoras de nitrógeno es buena alternativa las cuales pueden ser utilizadas en remplazo de los fertilizantes nitrogenados para el crecimiento

de las leguminosas, contribuyendo significativamente en la reducción de los problemas ambientales y económicos así mismo se aumenta la fertilidad de los suelos los cuales tienden a mejorarse gradualmente.

Quesada es un municipio eminentemente agrícola, un alto porcentaje de los pobladores del área rural del municipio viven de la agricultura ya que es la fuente principal de la cual proviene la mayoría de sus ingresos, por lo tanto con la presente investigación se logra un impacto económico positivo para los agricultores ya que se pretende aumentar la rentabilidad de su cultivo de frijol, por lo que es necesario un fortalecimiento en asistencia técnica e impulsar la investigación agrícola, incrementar la capacidad científica y tecnológica de la región mediante capacitación y desarrollo del tema, transferir y diseminar la tecnología del uso de biofertilizantes mediante investigación participativa lo cual puede provocar la aceptabilidad de esta tecnología que consolide e incremente las producciones juntamente con la seguridad del mercado.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de *R. etli* y *R. tropici* como fuente de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L*), variedad ICTA Patriarca.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el efecto de *Rhizobium etli+tropici* sobre la producción de nódulos por planta.

Cuantificar el efecto *Rhizobium etli+tropici* sobre la producción de biomasa nodular para cada uno de los tratamientos.

Determinar el tratamiento con mayor producción de materia seca.

Cuantificar el rendimiento de grano para cada uno de los tratamientos.

Realizar el análisis económico para determinar la rentabilidad de cada tratamiento.

## **V. HIPÓTESIS**

### **5.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

Al menos uno de los tratamientos produce un efecto diferente en la producción de nódulos por planta.

Al menos uno de los tratamientos difiere de los otros en cuanto a la producción de biomasa nodular.

Al menos uno de los tratamientos produce un efecto diferente en cuanto a producción de materia seca.

Al menos uno de los tratamientos supera a los otros en cuanto a rendimiento de grano

Al menos uno de los tratamientos supera a los otros en cuanto a rentabilidad.

## VI. METODOLOGÍA

### 6.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo se realizó en aldea la Brea, Quezada, Jutiapa ubicado a una altitud de 1200 msnm, la aldea se encuentra a 10 kilómetros de la cabecera municipal, el municipio se encuentra a 104 kilómetros de la ciudad capital y a 18 kilómetros de la cabecera departamental de Jutiapa, el municipio se ubica al lado poniente del departamento de Jutiapa, comprendido entre 14°16'16" latitud norte y longitud 90° 02'17", con relación al meridiano de Greenwich y limita al norte con el municipio de Casillas, departamento de Santa Rosa, al sur con el municipio de Jalpatagua y Jutiapa, al oriente con Jutiapa y al poniente con San José Acatempa. Este municipio se encuentra a una altura de 950 metros sobre el nivel del mar (Herrera, 2005).

### 6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

#### 6.2.1 Frijol

El material que fue evaluado es la variedad de frijol ICTA Patriarca, es de hábito de crecimiento indeterminado, 70 cm de altura. La floración inicia a los 32 días después de siembra, la vaina madura es de color crema y tiene 7 granos de color negro. La madurez fisiológica se alcanza a los 74 días después de siembra y se cosecha a los 85 (Carrillo, 2014).

#### 6.2.2 Bacteria

La bacteria utilizada en el ensayo experimental fue cepas de *Rhizobium etli+tropici* para inocular en forma de turba (polvo), el cual se encuentra empacado en bolsas de nylon transparente con un peso de 25 gramos, contiene la mezcla específicamente de las especies de *tropici* (CIAT 899), *etli* (CIAT 632) y *tropici* (CR 477) el cual es producido por la Escuela Agrícola Panamericana de Honduras (ZAMORANO), la bacteria para el presente ensayo experimental fue proporcionada por el ICTA.

Reyes, Ramírez y Lozan (1992), en su investigación sobre la caracterización de cepas de *Rhizobium* que nodulan frijol común, concluyeron que para obtener un buen rendimiento en el cultivo de leguminosas *R. tropici* (CIAT 899) debe contar con una

cantidad en unidades formadoras de colonias (UFC) de  $39 \times 10^3/g$  y para *R. tropici* (CR 477) debe contar con una UFC de  $17 \times 10^3/g$ , el efecto de *R. etli* (CIAT 632) para promover el crecimiento de la planta de frijol es de una concentración de  $9 \times 10^8$  UFC/g después de 6 días de germinada la semilla.

### **6.3 FACTORA ESTUDIAR**

El factor a estudiar fueron 0.40, 0.60, 0.80 y 1 kg/ha de *Rhizobium etli+tropici* eficientes en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico.

### **6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS**

En el experimento se evaluaron seis tratamientos de los cuales cuatro son basados en mezcla de las cepas de *R. tropici* y *R. etli* eficientes en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico con la variedad mejorada de frijol negro ICTA Patriarca, la mezcla de las dos cepas de *Rhizobium* incorporadas a la semilla de frijol constituyó parte de los tratamientos evaluados, además se evaluó un testigo con nitrógeno (46-00-00) utilizando una dosis de 80 kg/ha de N (dosis utilizada por el Sistema de Integración Centroamericana de Tecnología Agrícola-SICTA- 2009), en Estelí, Nicaragua, en una investigación realizada sobre fertilización nitrogenada de frijol).

Para inocular la semilla de frijol se aplicó una solución azucarada la cual cumplió con la función de adhesivo ya que las cepas de *Rhizobium* fueron aplicadas en forma de turba (polvo), la fertilización de las unidades experimentales con N se llevó a cabo a los 12 días después de la siembra la cual se realizó una vez durante el ciclo del cultivo en postura.

Los tratamientos utilizados en el experimento se detallan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Descripción
T1	0.40 kg/ha de <i>R. tropici</i> + <i>R. etli</i>
T2	0.60 kg/ha de <i>R. tropici</i> + <i>R. etli</i>
T3	0.80 kg/ha de <i>R. tropici</i> + <i>R. etli</i>
T4	1 kg/ha de <i>R. tropici</i> + <i>R. etli</i>
T5	80 kg N/ha (fuente 46-00-00)
T6	Testigo (sin <i>Rhizobium</i> y sin fertilizante)

## 6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación, se efectuó utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), con seis tratamientos y cinco repeticiones, las unidades experimentales fueron sometidas al mismo manejo agronómico.

## 6.6 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}.$$

Donde:

$Y_{ij}$  = variable respuesta asociada a la  $ij$ -ésima unidad experimental.

$\mu$  = media general del experimento.

$T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$B_j$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque

$E_{ij}$  = error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental

(López y González, 2013).

## 6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

### 6.7.1 Área total del experimento

El ensayo experimental se realizó en un área total de 201.6 m<sup>2</sup> con una densidad poblacional de 5,040 plantas divididas en 30 unidades experimental, para el conteo de nódulos y peso seco de la biomasa se extrajeron 10 plantas por unidad experimental, el resto se utilizó para la proyección de rendimiento.

### 6.7.2 Área bruta.

La parcela bruta estuvo compuesta por 4 surcos de 4.2 m de longitud, distanciamiento de 0.40 m entre surcos y 0.30 m entre planta colocando tres semillas por postura, con una densidad poblacional de 42 plantas por surco y un total de 168 plantas en un área bruta de 6.72 m<sup>2</sup>.

### 6.7.3 Área neta.

La parcela neta estuvo constituida por dos surcos centrales de 4.2 m de longitud, distanciamiento de 0.40 m entre surcos y 0.30 m entre planta, con una densidad poblacional de 42 plantas por surco y un total de 84 plantas en un área de 3.36 m<sup>2</sup>.

## 6.8 CROQUIS DE CAMPO

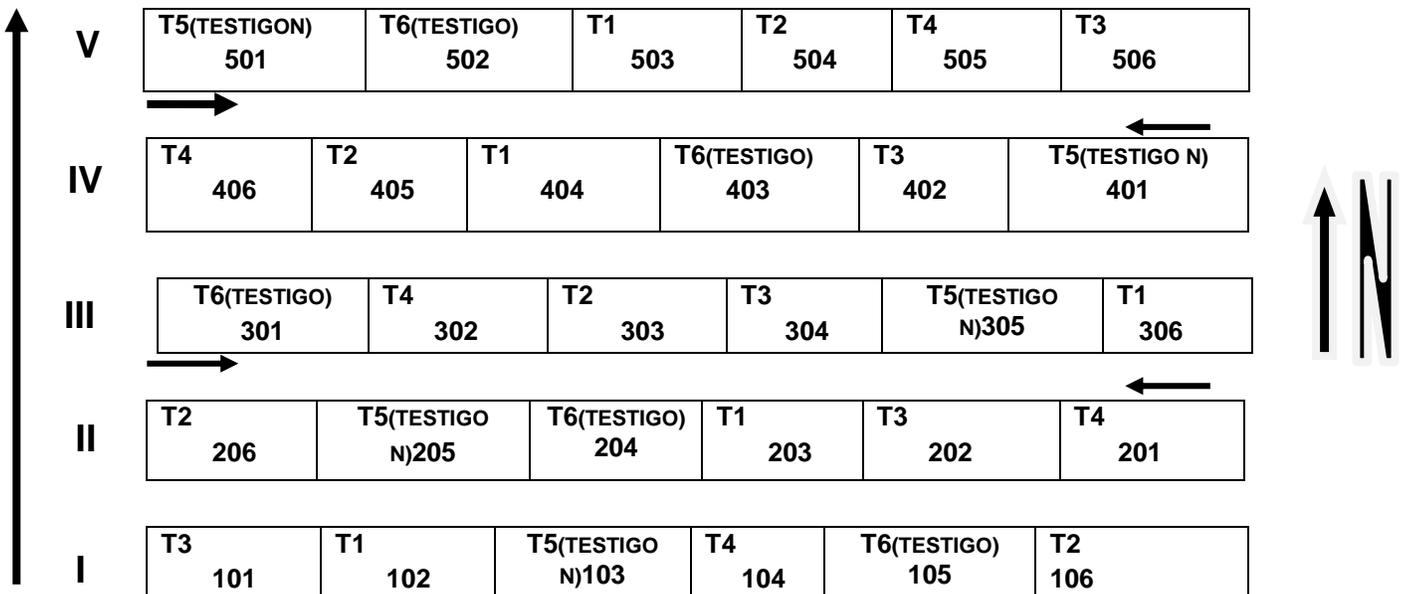


Figura 1. Croquis de campo con su debida aleatorización de tratamientos.

## **6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO**

### **6.9.1 Obtención de la semilla de frijol.**

La semilla de frijol variedad ICTA Patriarca fue proporcionada por el programa de frijol del ICTA.

### **6.9.2 Obtención de la bacteria *Rhizobium*.**

La bacteria de *Rhizobium* utilizada para inocular la semilla de frijol fue proporcionada por el ICTA.

### **6.9.3 Selección del sitio experimental**

Se seleccionó el lugar donde se estableció el ensayo, el cual se considera que contó con las siguientes consideraciones experimentales:

El suelo ideal para ensayos con cepas de *Rhizobium* es aquel que contiene una baja concentración de N y una población baja de rizobios nativos, se eligió un terreno de superficie plana en el cual no se ha sembrado frijol durante tres años consecutivos, únicamente ha cultivado sorgo y maíz, información proporcionada por el propietario Albino de la Rosa.

El terreno donde se llevó a cabo el ensayo es de aspecto homogéneo, con suelo uniforme, y con área suficientemente grande el cual permitió una separación adecuada entre bloques, el terreno se mecanizó con arado artesanal con la finalidad de contar con un adecuado drenaje para prevenir la contaminación debido al movimiento superficial del agua después de una fuerte lluvia.

### **6.9.4 Condiciones del suelo**

Se realizó análisis de suelo para determinar la cantidad de nutriente presentes en el mismo, determinado que el terreno cuenta con niveles adecuados de fosforó, Magnesio y azufre, sin embargo cuenta con niveles bajos de potasio y calcio. (Ver anexo, figura, 20).

### **6.9.5 Siembra del cultivo**

La siembra del cultivar experimental frijol ICTA Patriarca se realizó el día Lunes 9 de Junio del año 2014 en horas de la mañana (7:00 am a 9 am), previo a la siembra se incorporó cada dosis de *Rhizobium* a la semilla del cultivar de frijol.

### **6.9.6 Control de plagas**

Existen varios métodos para el control de plagas: la selección del método a aplicar en un caso específico depende de factores tales como agro-sistema en el que crece el cultivo, la topografía del área, la población de las plagas, tipo de plagas, la variedad de frijol utilizada, los costos y otros (Gudiel, 2004).

Se realizaron constantes monitoreo para la identificación de plagas y enfermedades, se utilizó control químico ya que es el método que utiliza comúnmente el agricultor, se aplicó el mismo control a todas las unidades experimentales, trece días después de la siembra se realizó la primera aplicación de insecticida Thiacloprid más Beta-Cyfluthrina (11,25 SE.) Suspensión Emulsionable, para control de (*Diabrotica* sp.) ya que el cultivo contaba con indicio de daños por dicha plaga, además se aplicó el fungicida Azoxistrobin (28 SC.) Suspensión Concentrada, con fin preventivo de mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) y Roya (*Uromyces appendiculatus*), repitiendo la misma aplicación con intervalos de ocho días.

### **6.9.7 Fertilización**

El cultivo de frijol necesita niveles adecuado de nutrientes esencial para un adecuado desarrollo, es un cultivo que tiene exigencias de minerales sobre todo fósforo y nitrógeno, en el cuadro 6 se presenta los requerimientos nutricionales del cultivo de frijol en elemento puro.

Cuadro 6. Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol en elemento puro expresado en kg/ha.

<b>Nutriente</b>	<b>kg/ha</b>
N	97
P	9
K	93
Ca	54
Mg	18
S	25

(Rosas, Castro y Flores, 1999).

En el presente experimento de campo, para la fertilización del tratamiento con fertilizante químico se utilizó una dosis de 80 kg de N por hectárea (46-00-00), dicha fertilización se llevó a cabo a los 12 días después de la siembra la cual se realizó una vez durante el ciclo del cultivo en forma localizada, similar dosis fue utilizada por Acuña Rodríguez, Llano, Calderón, Flores y Lépiz (2001) y por Carrillo (1990).

### **6.9.8 Control de malezas**

El control de malezas se realizó de forma manual, utilizando azadones, para eliminar las malezas presentes en el cultivo del frijol, las cuales pueden afectar el experimento al establecerse la competencia por nutrientes, la primera limpia se realizó cuando el cultivo se encontraba en etapa V4 la cual ocurre cuando al menos el 50% de la población tiene la tercera hoja trifoliada despegada, la segunda limpia se realizó en la etapa R6 esta etapa inicia cuando la planta presenta la primera flor abierta y el 50% del cultivo presenta estas características (Gudiel, 2004).

## **6.10 VARIABLES RESPUESTA**

### **6.10.1 Número de nódulos por planta**

A los 45 días después de la siembra se procedió a la recolección de 10 plantas de frijol en etapa fenológica de floración por unidad experimental con la finalidad de extraer los nódulos por planta, los cuales fueron secados durante 3 semanas a la sombra y

posteriormente realizar el conteo respectivo, del cual se obtuvo el total de nódulos por unidad experimental.

Es importante evaluar la masa nodular ya que el peso y número de nódulos con frecuencia está correlacionado positivamente con el N<sub>2</sub> fijado (Pineda, 1992).

#### **6.10.2 Peso seco de nódulos en gramos (g)**

Para la determinación de peso seco de nódulos se procedió a pesar los nódulos cuantificados por unidad experimental para cada tratamiento en cada bloque, mediante la utilización de una balanza analítica.

#### **6.10.3 Materia seca por planta en gramos (g)**

Para obtener el peso de materia seca por planta se utilizaron las 10 plantas seleccionadas para el conteo de nódulos por unidad experimental, estas fueron secadas a la sombra por 3 semanas, posteriormente se procedió a pesar la totalidad de plantas por unidad experimental, para tal proceso se utilizó una balanza analítica, donde se obtuvo el peso expresado en g/unidad experimental.

#### **6.10.4 Rendimiento de grano al 14% de humedad en kilogramos por hectárea (kg/ha)**

Luego de la cosecha de cada unidad experimental, se determinó el porcentaje de humedad de grano de forma manual utilizando el método del tacto ya que no se contó con determinador de humedad para frijol escala "A".

### **6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

#### **6.11.1 Análisis estadístico**

Para el análisis de datos se utilizó el software InfoStat. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y prueba múltiple de medias (Tukey) (si existiera diferencia entre los tratamientos evaluados), con un nivel de significancia del 1%.

### 6.11.2 Análisis económico

Se realizó análisis económico posteriormente a cosecha, para determinar cuál de los tratamientos evaluados generó mayor beneficio económico, se analizaron los resultados mediante el método de presupuestos parciales para experimentos agrícolas, el cual es un método que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos reales y beneficios de los tratamientos evaluados (Centro Internacional para Mejoramiento de Maíz y Trigo-CIMMYT-1988).

Se estableció la relación beneficio/costo la cual expresa la relación entre ingresos brutos y costos totales para cada tratamiento, detallando, costos de producción fijos y variables. Esta relación siempre debe de estar por encima de uno, para que exista ganancia o sea factible, mientras que si es igual a uno se puede decir que se alcanzó el punto de equilibrio (Aguirre, 1995).

Se realizó análisis de dominancia, lo cual permite seleccionar los tratamientos que en términos de ganancia ofrecen la posibilidad de ser escogidos para ser recomendados a los agricultores(CIMMYT, 1988).

#### a) Relación beneficio/costo

Para el cálculo de esta relación se aplicó la siguiente ecuación:

$$B/C = vi/ci$$

En donde:

**B/C** = Relación Beneficio / Costo

**Vi** = Valor de la producción (beneficio bruto)

**Ci** = Egreso

### **b) Presupuesto parcial.**

Para comparar los beneficios brutos de cada tratamiento, solamente se deben considerar los costos que difieren entre los tratamientos, es decir, los costos que varían, el término presupuesto parcial indica que en éste no se incluyen todos los costos de la producción, solo los que son afectados por los tratamientos(CIMMYT, 1988).

### **c) Costos que varían.**

El paso inicial al efectuar un análisis económico de los ensayos en finca es calcular los costos que varían con cada tratamiento. Los costos que varían son los costos por hectárea relacionados con los insumos comprados, la mano de obra y la maquinaria, que varía de un tratamiento a otro, una vez que se identifican los insumos que varían de un tratamiento a otro, se determinan el total de los costos que varían para cada tratamiento (CIMMYT, 1988).

### **d) Análisis de dominancia.**

El análisis de dominancia se efectúa, primero, ordenando los tratamientos de menores a mayores totales de costos que varían. Se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos (CIMMYT, 1988).

### **e) Tasa marginal de retorno**

El objetivo del análisis marginal es revelar exactamente como los beneficios netos de una inversión aumentan al pasar de un tratamiento a otro, en si la tasa de retorno marginal es el beneficio neto marginal (aumento en el beneficio neto), dividido por el costo marginal (aumento en los costos que varían), expresado en porcentaje (CIMMYT, 1988).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 NÚMERO DE NÓDULOS POR PLANTA.

En el cuadro 7 se presentan los resultados del análisis de varianza que mostro diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos al 1% ( $p < 0.0001$ ), para la variable evaluada número de nódulos por planta.

Cuadro 7. Análisis de Varianza para la variable número de nódulos.

Factores de Variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	P-Valor
Modelo	4	80.05	98.18	<0.0001**
Bloque	4	10.97	13.46	0.0015*
Tratamiento	5	107.68	132.07	<0.0001**
Error	20	2.51		
Total	29			

CV= 2.76%

\*\*= Alta Significancia \* = Significancia N.S= No hay Significancia

Analizando la alta significancia estadística ( $p < 0.0001$ ), para tratamientos se puede afirmar que la dosis de *Rhizobium* aplicado influye positivamente en el número de nódulos producidos por planta.

El coeficiente de variación obtenido fue del 2.76% del cual se puede interpretar que existe una alta homogeneidad entre los datos de campo obtenidos, indicando que la desviación de los puntos con relación a la media general se considera aceptables ya que CV es menor al máximo permitido, por lo tanto se puede afirmar que el ensayo fue bien manejado y la información es confiable.

Partiendo de la alta significancia estadística para número de nódulos por planta, se realizó la prueba múltiple de medias Tukey al 1% de significancia con el propósito de establecer diferencias reales entre tratamientos.

Cuadro 8. Prueba múltiple de Tukey al 1% para número de nódulos

Tratamientos	No. Nódulos/10 plantas	Grupos
1 kg/ha de <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	40.45	A
0.80 kg/ha de <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	36.63	B
Testigo absoluto	34.51	B
0.60 kg/ha de <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	31.15	C
0.40 kg/ha de <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	30.54	C
80 kg/ha de Nitrógeno (46-00-00)	23.03	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )  
DMS=3.35093

Se formaron cuatro grupos, en el grupo A se ubicó al tratamiento 1kg/ha de *Rhizobium* el cual es diferente y superior al resto, con una media producida de 40.45 nódulos por planta, el grupo B está integrado por los tratamientos 0.80 kg/ha de *Rhizobium* y Testigo absoluto los cuales son estadísticamente iguales, el grupo C está conformado por los tratamientos 0.60 y 0.40 kg/ha de *Rhizobium* los cuales produjeron una media de 31.15 y 30.54 respectivamente, el cuarto y último grupo es el grupo D y está conformado por el tratamiento 0.80 kg/ha de Nitrógeno en el cual se desarrolló menor número de nódulos en comparación al resto de tratamientos.

Debido a que los tratamientos con *Rhizobium* superan estadísticamente el tratamiento con nitrógeno se puede afirmar que la mezcla de las cepas *R. etli* y *R. tropici* influyen positivamente en la cantidad de nódulos producidos por planta, similares resultados fueron obtenidos por Quiñonez (1996), al concluir que estadísticamente el número de nódulos se incrementó con la inoculación de la mezcla de las cepas *Rhizobium* (CIAT-57, CIAT-151 y CIAT 632) el cual se comparó con testigos sin inocular en su investigación realizada sobre Respuesta a la Inoculación de (*Rhizobium Leguminosarum*) biobar *phaseoli* en cuatro Variedades de Frijol Negro (*Phaseolus Vulgaris L.*) con Potencial de Comercialización en el Altiplano Central (Ver anexo, cuadro 32), así mismo indica que el número de nódulos puede incrementarse sobre la nodulación natural de las cepas

nativas, lo cual se sospecha que sucedió en la presente investigación ya que el Testigo Absoluto únicamente fue superado por el tratamiento 1 kg/ha de *Rhizobium*.

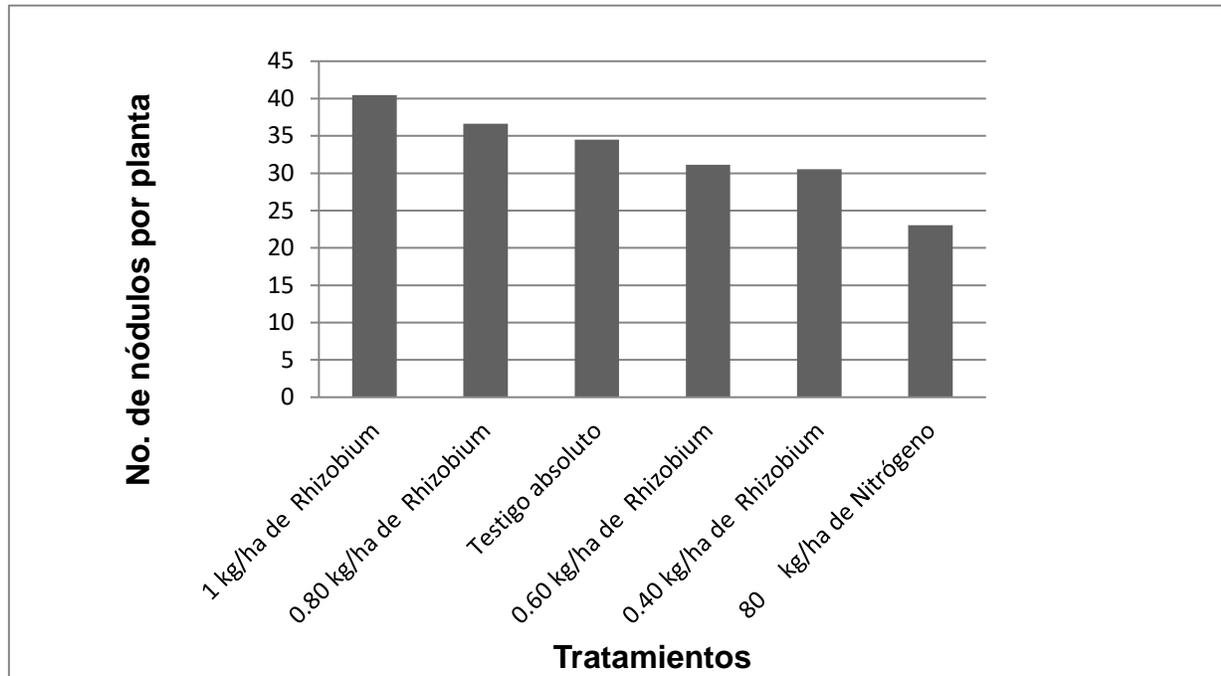


Figura 2. Numero de nódulos por planta en la localidad de Aldea la Brea, Quesada, Jutiapa. Guatemala 2015

Analizando el comportamiento que tuvo la variable numero de nódulos por planta, se pude afirmar que la dosis 1 kg/ha de *Rhizobium* obtuvo el mejor resultado con una media producida de 40.45 nódulos, el cual demostró ser estadísticamente mejor a todos los tratamientos evaluados, superando la media general de 32.72 nódulos en conjunto con los tratamientos 0.80 kg/ha de *Rhizobium* y testigo absoluto (Ver figura 2).

## 7.2 PESO SECO DE NÓDULOS EN GRAMOS (g).

En el cuadro 10, se presentan los resultados del análisis de varianza donde se obtuvo alta significancia estadística para peso seco de nódulos.

Analizando la alta significancia estadística ( $p < 0.0001$ ) para peso seco de nódulo en esta investigación, nos indica que al menos una de las medias evaluadas produjo un efecto diferente en cuanto a peso seco de nódulos, este resultado unificado con lo observado en número de nódulos por planta son un indicador de la efectividad de inoculación de frijol con cepas de *Rhizobium*.

Por el valor del coeficiente de variación obtenido 8.51%, indica que la variación de los datos con relación a la media general se considera aceptable, se puede afirmar que el ensayo experimental fue manejado adecuadamente y la información es representativa de la investigación.

Cuadro 9. Análisis de la Varianza para los tratamientos en la variable peso seco de nódulos.

Factores de Variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	P-Valor
Modelo.	4	0.08	27.30	<0.0001**
Bloque	4	0.03	1.51	0.2673 NS
Tratamiento	5	0.10	37.38	<0.0001**
Error	20	0.28		
Total	29			

CV=8.51%

\*\*= Alta Significancia \* = Significancia N.S= No hay Significancia

Cuadro 10. Prueba múltiple de Tukey al 1% para la variable peso seco de nódulos.

Tratamientos	Peso de nódulos en gramos/10 plantas	Grupos	
1 kg/ha de <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	0.81	A	
0.80 kg/ha de <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	0.70	A	B
0.60 kg/ha de <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	0.69	A	B
Testigo absoluto	0.66	A	B
0.40 kg/ha de <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	0.60		B
80 kg/ha de Nitrógeno (46-00-00)	0.27		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )  
DMS= 0.19586

La comparación múltiple de medias determino la integración de tres grupos; en el grupo A se ubicó a los tratamientos 1, 0.80, 0.60 kg/ha de *Rhizobium* y testigo absoluto, el B lo integraron los tratamientos 0.80, 0.60 y 0.4kg/ha de *Rhizobium* y Testigo absoluto, estos dos grupos fueron estadísticamente superiores al tratamiento con fertilizante químico con 80 kg/ha de N, el cual conforma el grupo C. Por lo tanto se estableció que el mejor tratamiento es de 1 kg/ha de *Rhizobium*.

Se puede plantear que la aplicación de nitrógeno inhibe el desarrollo y el tamaño de nódulos, por lo que los resultados para este tratamiento específicamente indican menor masa nodular, resultados similares fueron obtenidos por Carrillo (1990), donde todos los tratamientos con *Rhizobium* incluyendo el testigo absoluto superaron al tratamiento con fertilizante químico 100 kg/ha de nitrógeno (ver anexo, cuadro 25), lo cual coincide con los resultados obtenidos en la investigación.

Los valores obtenidos en la investigación fueron superiores a los registrados por Smith, Hartnett y Ricec (2003), sobre la capacidad de la bacteria *R. etli* para la fijación biológica de N (ver anexo, cuadro 30).

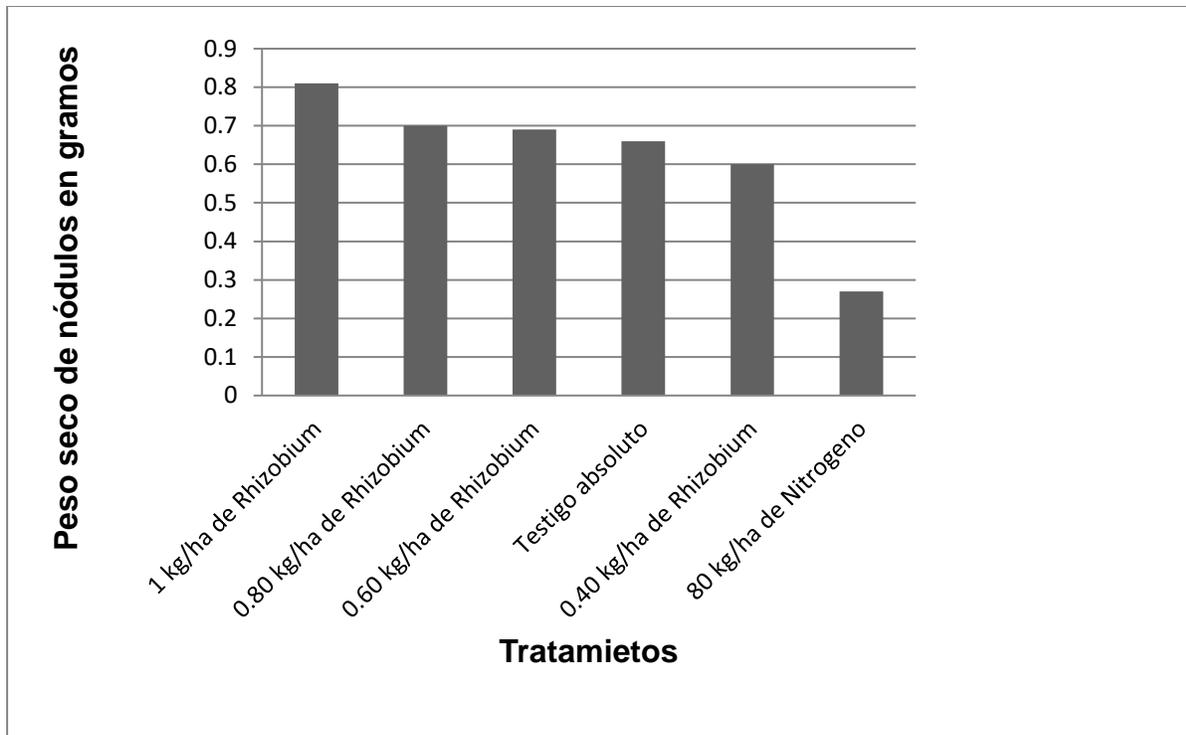


Figura 3. Peso seco de nódulos en la localidad de Aldea la Brea, Quesada, Jutiapa. Guatemala 2015.

En la presente investigación se determinó que los tratamientos 0.40 kg/ha de *Rhizobium* y el tratamiento 80 kg/ha de N no superaron la media general de 0.61 gramos de masa nodular, siendo el mejor tratamiento el de 1 kg/ha de *Rhizobium* con una media producida de 0.81 gramos (Ver figura 3).

### 7.3 MATERIA SECA POR PLANTA EN GRAMOS (g).

Se obtuvo alta significancia estadística de los tratamientos para la variable respuesta materia seca por planta, por lo tanto en esta investigación se puede afirmar que al menos uno de los tratamientos evaluados produjo un efectos diferente en cuanto a la producción de materia seca por planta, lo cual confirma la hipótesis alternativa planteada, el coeficiente de variación obtenido es de 7.34% el cual se encuentra por debajo del máximo permitido, lo cual indica que el experimento fue manejado adecuadamente, en el cuadro 12 se presentan los resultados de análisis de varianza realizada.

Cuadro 11. Análisis de la Varianza para materia seca por planta.

Factores de Variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	P-Valor
Modelo	4	418.25	38.77	<0.0001 **
Bloque	4	37.72	3.50	0.0706 NS
Tratamiento	5	570.46	52.87	<0.0001 **
Error	20	10.79		
Total	29			

CV= 7.34%

\*\*= Alta Significancia \* = Significancia N.S= No hay Significancia

Cuadro 12. Prueba de Tukey al 1% para materia seca por planta.

Tratamientos	Materia seca en gramos/ 10 plantas	Grupos
80 kg/ha de Nitrógeno (46-00-00)	69.67	A
1 kg /ha <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	51.67	B
0.80 kg /ha <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	38.33	C
0.60 kg /ha <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	38.33	C
Testigo absoluto <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	38.00	C
0.40 kg/ha <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	32.33	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

DMS=12.18912

En la prueba de Tukey realizada, señala que se formaron tres grupos, el grupo A está formado por el tratamiento 80 kg/ha de nitrógeno el cual demostró ser el mejor con una media producida de 69.67 gramos, superando a todos los tratamientos evaluados con *Rhizobium* y testigo absoluto, el grupo B lo integra el tratamiento 1 kg/ha de *Rhizobium*, el cual indica que se produjo mayor cantidad de materia seca, superado únicamente por el tratamiento con fertilizante químico, dejándolo en segunda posición, los cual indica que es una buena alternativa para incrementar la biomasa aérea de la planta, el grupo C está integrado por los tratamientos 0.80, 0.60y 0.40 kg/ha de *Rhizobium* los cuales

presentaron resultados muy similares, siendo estos estadísticamente iguales al testigo absoluto (ver cuadro 12).

En cuanto al efecto producido por el fertilizante químico, los resultado obtenido coincide con lo expuesto por Carrillo (1990), donde el tratamiento con fertilizante químico 100 kg/ha de nitrógeno superó a los demás tratamientos con una producción de 64.70 gramos de biomasa (ver anexo, cuadro 20).

Según Martínez, Osuna, Padilla, Acosta y Loredo, (2008) en su investigación sobre la Simbiosis de *Rhizobium* en el frijol de riego, en su análisis estadístico no encontraron diferencia significativa para el factor fertilización química, lo que permitió inferir que la fijación de nitrógeno atmosférico a través de *Rhizobium* fue capaz de suministrar las dos terceras partes del fertilizante que normalmente requiere el cultivo para una nutrición adecuada, el cual fue estadísticamente igual al tratamiento con fertilizante químico ( ver cuadro anexo 21). Sin embargo para el presente ensayo experimental se observa que el tratamiento con fertilización química (80 kg N/ha), supero a todos los tratamientos con *Rhizobium* y testigo absoluto, lo cual se puede atribuir a la fuente de fertilizante utilizado (ver cuadro 12)

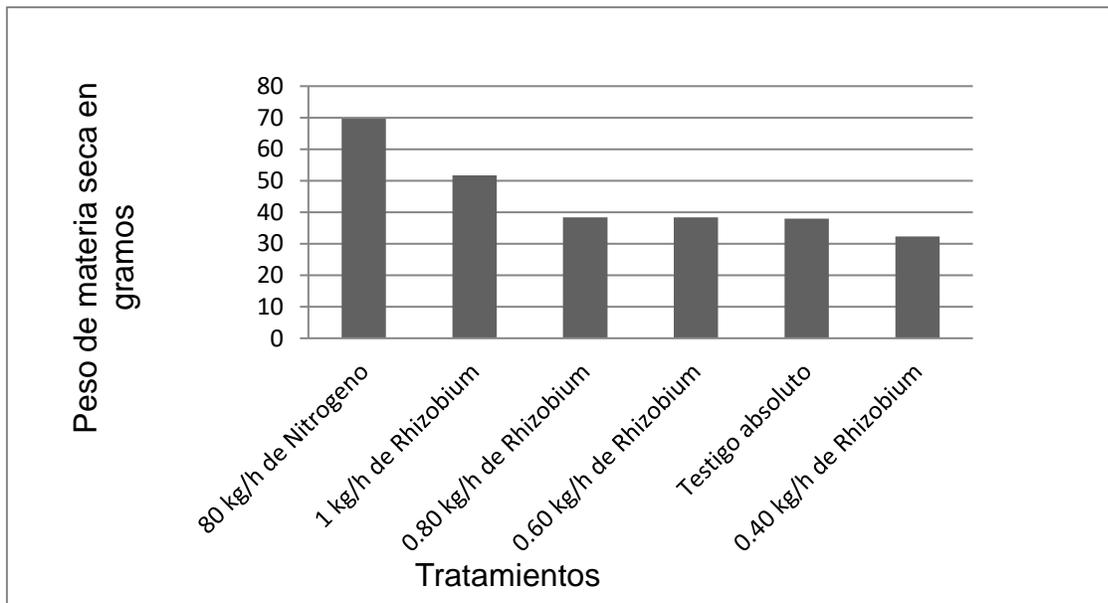


Figura 4. Peso de materia seca por planta en la localidad de Aldea la Brea, Quesada, Jutiapa. Guatemala 2015.

En la presente investigación, se determinó, que cuando se aplicó 80 kg/ha de nitrógeno se produjo mayor cantidad de materia seca, reflejado en la media generada de 69.67 gramos, superando a todos los tratamientos con *Rhizobium* y el testigo absoluto (Ver figura 4), Aguirre, Trejo, Acosta, Cadena y Peña, (2005), en su investigación realizada indican que los microorganismos como *Rhizobium* actúan positivamente con la planta de frijol al promover mayor acumulación de materia seca en la planta e inducir tolerancia a estrés hídrico lo que también depende de la interacción genotipo microorganismo, sin embargo para la presente investigación surgió un efecto diferente ya que se encontró que la mayor cantidad de materia seca producida fue con el tratamiento de fertilizante químico 80 kg/ha de nitrógeno.

#### 7.4 RENDIMIENTO DE GRANO AL 14% DE HUMEDAD.

En la variable respuesta rendimiento de grano kg/ha evaluada se obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos, la alta significancia estadística obtenida indica que hubo variabilidad entre los tratamientos evaluados, se obtuvo un coeficiente de variación de 6.12% el cual indica que el experimento fue manejado adecuadamente ya que se encuentra por debajo del máximo permitido, en el cuadro 13 se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 13. Análisis de la Varianza para los tratamientos en la variable rendimiento de grano al 14% de húmedas expresado en kg/ha.

Factores de Variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	P-Valor
Modelo	4	29126.37	33.81	<0.0001**
Bloque	4	4473.39	5.19	0.0284*
Tratamiento	5	38987.56	45.26	<0.0001**
Error	20	861.46		
Total	29			

CV= 6.12%

\*\*= Alta Significancia \* = Significancia N.S= No hay Significancia

El cuadro 14, presenta los resultados obtenidos con la separación de medias Tukey, aplicada al 1% de significancia para la variable rendimiento de grano en kg/ha, debido a que se encontró diferencia estadística altamente significativa en el análisis de varianza.

Cuadro 14. Prueba de Tukey al 1% para los tratamientos en la variable rendimiento de grano al 14% de humedad en kg/ha.

Tratamiento	Rendimiento de frijol en kg/h.	Grupos	
80 kg /ha de Nitrógeno (46-00-00)	687.33	A	
1 kg /ha <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	500.00	B	
0.80 kg /ha <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	479.33	B	
0.60 kg /ha <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	437.67	B	C
Testigo absoluto	416.67	B	C
0.40 kg /ha <i>R. etli</i> + <i>R. tropici</i>	354.33		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )  
DMS=108.91816

Los resultados de la prueba de medias Tukey al 1% presentados en el cuadro 14, demostraron que si existen comportamientos estadísticamente diferentes, en lo que se refiere a rendimiento de grano, se formaron tres grupos de los cuales el grupo A está integrado por el tratamiento 80 kg/ha de nitrógeno, con una media producida de 687.33 kg/ha, el grupo B lo forman los tratamientos 1, 0.80 y 0.60 kg/ha de *Rhizobium* y testigo absoluto los cuales demostraron ser estadísticamente iguales, los tratamientos 0.60 kg/ha de *Rhizobium*, testigo absoluto y 0.40 kg/ha *Rhizobium* conforman el grupo C, en conclusión el mejor tratamiento es 80 kg/ha de nitrógeno ya que genero el mayor rendimiento de grano, le siguen los tratamientos 1 y 0.80 kg/ha de *Rhizobium* con una media producida de 500 y 479 kg/ha respectivamente, esto debido a que los tratamientos 0.60 kg/ha de *Rhizobium* y testigo absoluto se igualan al tratamiento 0.40 kg/ha *Rhizobium* en el grupo C.

Analizando el comportamiento que tubo testigo absoluto en la presente investigación para la variable rendimiento de grano, se sospecha que las cepas nativas de *Rhizobium* presentes en la región son eficientes en la fijación biológica de nitrógeno ya que testigo absoluto demostró que es estadísticamente igual a los tratamientos con *R. etli* y

*R. tropici*, poniendo de manifiesto lo concluido por Carrillo (1998), el cual concluyo que las cepas nativas de *Rhizobium* presentes en los suelos de Quesada son altamente fijadoras de nitrógeno.

Acuña, *et al* (2001) en su trabajo sobre validación técnica de inoculantes en Frijol con Cepas de *Rhizobium* eficientes en fijación de nitrógeno en Centroamérica obtuvieron resultados similares a los obtenidos en esta investigación, ya que los tratamientos con fertilizantes químico superaron a los tratamientos inoculados y testigo absoluto, concluyendo que el cultivo de frijol muestra respuesta en rendimientos al ser inoculadas con *Rhizobium* (ver cuadros, anexos 22, 23, 24), lo que confirma al igual que en el presente ensayo experimental que la biofertilización no supera en rendimiento a la fertilización química, sin embargo es una excelente alternativa por el efecto positivo que el cultivo de frijol refleja a la inoculación con cepas eficientes, en fijación de nitrógeno atmosférico. Lo cual bajo una perspectiva de baja inversión es la mejor opción para agricultores de bajos recursos. Sin embargo con una fertilización completa se obtienen altos rendimientos con un costo de producción elevado, la cual puede ser utilizada únicamente por agricultores con mayores recursos económicos ya que tiene la peculiaridad de que los costos de producción son mayores, que el uso de inoculantes.

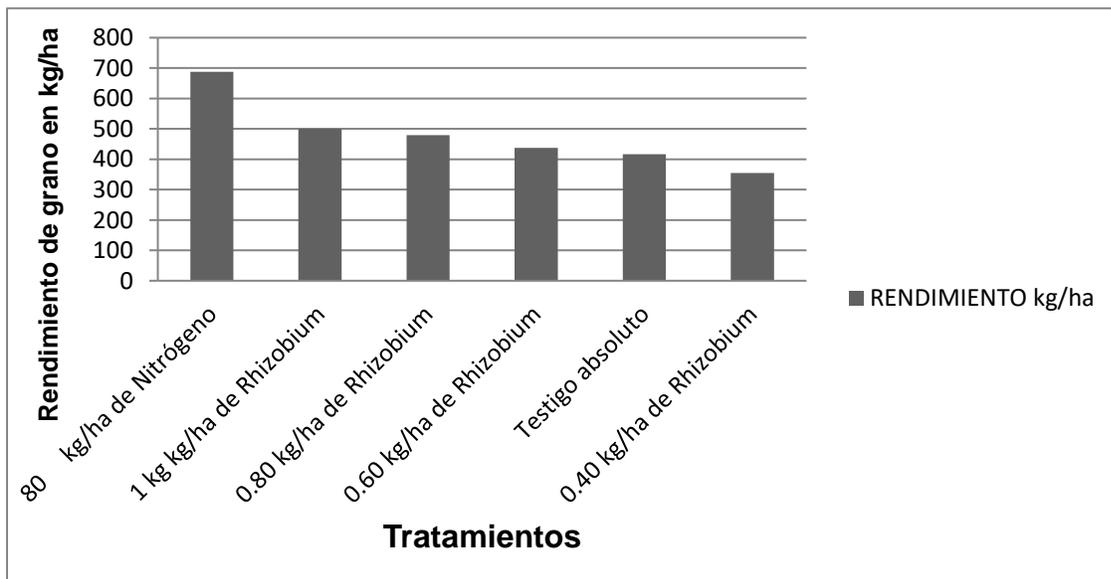


Figura 5. Rendimiento de grano en kg/ha obtenidos en la localidad de aldea la Brea, Quesada, Jutiapa, Guatemala 2015.

En la presente investigación la variable independiente 80 kg/ha de N demostró ser estadísticamente superior a los tratamientos evaluados con *Rhizobium* y testigo absoluto en cuanto a rendimiento de grano en kg/ha, con una media producida de 687.33 kg, ubicándose en segundo lugar el tratamiento 1 kg/ha de *Rhizobium* con 500 kg, siendo los únicos tratamientos que superan la media general de 479 kg de grano por hectárea (Ver figura 5).

## **7.5 ANÁLISIS ECONÓMICO.**

El análisis económico de los datos obtenidos en las unidades experimentales se realizó mediante los métodos de presupuestos parciales, tasa marginal de retorno y benéfico/costo, los costos de producción del frijol para el tratamiento con fertilizante químico (N) resultaron más altos que para los tratamientos con *Rhizobium* esto debido a que el productor está invirtiendo en la compra de fertilizante químico así mismo, en pago de mano de obra para la fertilización (ver cuadro, anexo 29), sin embargo el tratamiento con fertilizante químico produjo mayor beneficio económico debido a que produjo mayor rendimiento, precedido del tratamiento 1 kg /ha de *Rhizobium*(ver cuadro15).

En el cuadro 15 se detalla el presupuesto parcial para cada uno de los tratamientos evaluados, se presentan los valores del incremento de los costos que varían para cada uno de los tratamientos evaluados. Donde el tratamiento con mayor costos variables fue el de 80 kg/ha de N debido a costo de fertilizante como mano de obra para la aplicación.

Cuadro 15. Presupuesto parcial por hectárea para cada uno de los tratamientos evaluados

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Cantidad utilizada	kg.	0.40	0.60	0.80	1	0	0
<i>Rhizobium</i> (kg/ha)							
Costo <i>Rhizobium</i>	Q.	36.00	54.00	72.00	90.00	0.00	0.00
Cantidad utilizada	kg.	0	0	0	0	80	0
Fertilizante (kg/ha)							
Costo del Fertilizante	Q.	0.00	0.00	0.00	0.00	344.00	0.00
Mano de obra para aplicar fertilizante	jornal	0	0	0	0	4	0
Costo de mano de obra	Q.	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	0.00
Costos Variables	Q.	36.00	54.00	72.00	90.00	544.00	0.00
Rendimiento	kg/ha	354.33	437.67	479.33	500.00	687.33	416.67
Beneficio bruto	Q/ha	2,746.05	3,391.94	3,714.80	3,875.00	5,326.80	3,229.19
Beneficio neto	Q/ha	2,710.05	3,338.94	3,642.80	3,785.00	4,782.80	3,229.19

En el cuadro 16 se presentan las diferencias económicas encontradas para cada uno de los tratamientos evaluados. Se determinó que el tratamiento 80 kg/ha de N ofrece la mayor relación benéfico/costo, siendo este el tratamiento con la mayor producción de grano con 687.33, el tratamiento que generó menor benéfico/costo es el tratamiento 1 con una producción de 354.33 kg de frijol por hectárea.

Cuadro 16. Relación beneficio costo encontrada para cada uno de los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTOS EVALUADOS	Producción kg/h de frijol	Precio de venta kg	Costo de producción tota /ha	Total de Ingreso	Relación B/C
T1	354.33	Q 7.75	Q 3,031.35	Q2,746.05	0.90
T2	437.67	Q 7.75	Q 3,050.25	Q3,391.94	1.11
T3	479.33	Q 7.75	Q 3,069.15	Q3,714.80	1.21
T4	500.00	Q 7.75	Q 3,069.15	Q3,875.00	1.26
T5	687.33	Q 7.75	Q3,564.75	Q. 5,326.80	1.49
T6	416.67	Q 7.75	Q 2,993.55	Q3,229.19	1.07

Partiendo del análisis económico aplicado a la producción de frijol para los seis tratamientos evaluados, se determinó que los tratamientos 80 kg N/ha (T5), 1 kg/ha de *Rhizobium* (T4), 0.80 kg/ha de *Rhizobium* (T3), 0.60 kg/ha de *Rhizobium* (T2) y testigo absoluto (T6) presentaron una relación beneficio/costo mayor a uno, indicando que económicamente si se generó ganancia, lo cual confirma lo expuesto por Acuña *et al* (2001) en su trabajo sobre validación técnica de inoculantes en Frijol con cepas de *Rhizobium* eficientes en fijación de nitrógeno en Centroamérica el cual indica que la biofertilización con *Rhizobium* en el cultivo de frijol es una buena alternativa para los agricultores de bajos recursos, el tratamiento 0.40 kg/ha de *Rhizobium* (T1) presentó una relación beneficio/costo menor a uno, por lo tanto generaron pérdidas (ver figura 6).

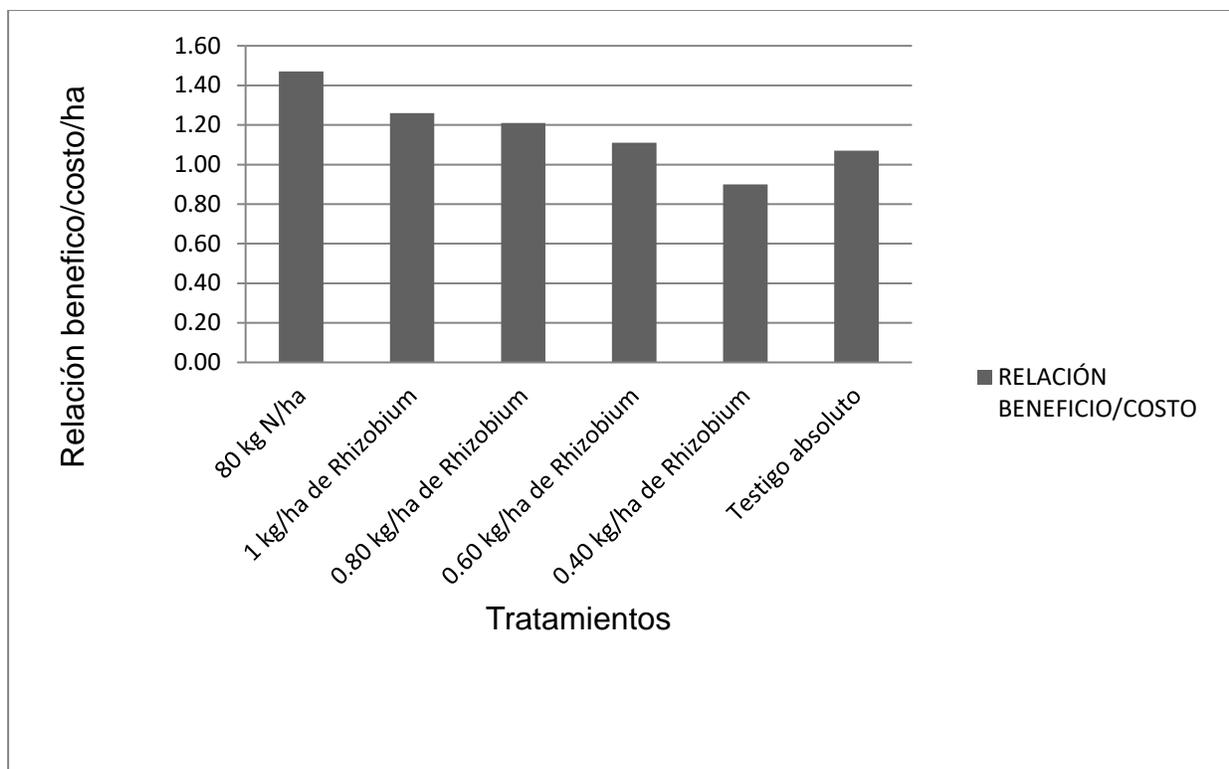


Figura 6. Relación beneficio/costo en la producción de frijol kg/ha por tratamiento.

En el cuadro 17, se presenta el análisis de dominancia para los tratamientos evaluados, al realizar la comparación entre tratamientos se determinó que (T1) 0.40 kg/ha de *Rhizobium* cuenta con menor beneficio económico, por lo tanto es dominado, (T6) testigo absoluto, (T2) 0.60 kg/ha de *Rhizobium*, (T3) 0.80 kg/ha de *Rhizobium*, (T4) 1 kg/ha de *Rhizobium*, y (T5) 80 kg/ha de N aumentaron los beneficios económicos, por lo tanto los tratamientos son no dominados.

Cuadro 17. Análisis de dominancia aplicado a los tratamientos evaluados

Tratamientos evaluados	Total de costos que varían (Q/ha)	Beneficios netos (Q/ha)	Conclusión
T6: Testigo absoluto	Q 0.00	Q. 3,229.19	No dominado
T1: 0.40 kg /ha de <i>Rhizobium</i>	Q 36.00	Q. 2,710.05	Dominado
T2: 0.60 /ha de kg <i>Rhizobium</i>	Q 54.00	Q. 3,338.94	No dominado
T3: 0.80 /ha de kg <i>Rhizobium</i>	Q 72.00	Q. 3,642.80	No dominado
T4: 1 /ha de kg <i>Rhizobium</i>	Q 90.00	Q. 3,785.00	No dominado
T5: 80 kg N/ha	Q 544.00	Q. 4,713.05	No dominado

En el cuadro 18 se presenta el análisis de la tasa de retorno marginal la cual indica lo que el agricultor puede esperar ganar, en promedio, con su inversión cuando decide cambiar un tratamiento por otro, la adopción del tratamiento, 1 kg/ha *Rhizobium* implica una tasa de retorno del 204%, es decir que, por cada Q 1.00 invertido, recuperara su Q 1.00 más Q 2.40, al cambiar el tratamiento 1 kg/ha *Rhizobium* por 0.80 kg/ha *Rhizobium* la tasa de retorno marginal es de 790%, el cambio del tratamiento 0.80 kg/ha de *Rhizobium* por 0.60 kg/ha *Rhizobium* genera una tasa de retorno de 1688%, por cada quetzal invertido se estará incrementando el beneficio neto con Q 16.88, al realizar el análisis de cambio del tratamiento 0.60 kg/ha de *Rhizobium* por testigo absoluto, se obtiene una tasa marginal de retorno del 203%, el tratamiento que genera mayor tasa de retorno es 0.60 kg/ha *Rhizobium*, seguido por el tratamiento 0.80 kg/ha de *Rhizobium*.

Cuadro 18, Tasa de Retorno Marginal para los Tratamientos no dominados

Tratamiento	Costos que varían (Q/ha)	Costos marginales (Q/ha)	Beneficios netos (Q/ha)	Beneficios netos marginales (Q/ha)	Tasa Marginal de Retorno (%)
80 kg/ha de N	544		4,713.05		
1 kg/ha de <i>Rhizobium</i>	90	454	3,785.00	928.05	204%
0.80 kg/ha de <i>Rhizobium</i>	72	18	3,642.80	142.20	790%
0.60 kg/ha de <i>Rhizobium</i>	54	18	3,338.94	303.86	1688%
Testigo absoluto	0.00	54	3,229.19	109.75	203%

## VIII. CONCLUSIONES

Para la variable número de nódulos por planta y peso seco se obtuvo alta significancia estadística siendo el tratamiento de 1 kg/ha de cepas de *Rhizobium etli+tropici* estadísticamente diferente y superior al resto de tratamientos.

Para la variable peso de materia seca y rendimiento de grano se obtuvo alta significancia estadística siendo el tratamiento 80 kg/ha de N estadísticamente diferente y superior al resto de tratamientos y como segunda opción el de 1 kg/ha de combinación de especies de la bacteria.

En cuanto al análisis de dominancia realizado para la presente investigación se determinó que los tratamientos testigo absoluto, 0.60, 0.80, 1kg/ha de *Rhizobium etli+tropici* y 80 kg/ha de N son no dominados ya que generaron mayor ganancia económica.

Bajo la condiciones específicas de este estudio, el tratamiento 0.80 kg/ha de *Rhizobium etli+tropici* demostró ser el mejor en cuanto al análisis de Tasa Marginal de Retorno realizado ya que es el que generan un mayor incremento de los benéficos netos.

## IX. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos se considera pertinente proponer la validación en parcelas semi comerciales de la dosis de 1 kg/ha de *Rhizobium etli+tropici* como también la dosis de 80 kg/ha de N con agricultores de la región.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el análisis económico se recomienda continuar con la evaluación de los tratamientos 0.80 y 1 kg/ha de *Rhizobium etli+tropici* en otros municipios del departamento de Jutiapa.

Se recomienda evaluar niveles decrecientes de nitrógeno a partir de la dosis de 0.80 kg/ha de *Rhizobium etli+tropici* con el mismo material experimental en otros municipios del departamento de Jutiapa.

En futuras investigaciones con *Rhizobium* se recomienda utilizar fuentes de fertilizantes nitrogenados en función del tipo de suelo con que se cuenta, en el caso de la presente investigación se realizó fertilización con Urea 46% de N ya que según la clasificación de suelos de Simmons (1959), Quesada tiene un suelo tipo Ustands-Ustepts.

## X. BIBLIOGRAFÍA.

- Acuña, O.; Rodríguez, A.; Llano, V.; Calderón, G.; Flores, A. y Lépiz, R. (2001). Validación técnica de inoculante en frijol con cepas de *Rhizobium* eficientes en la fijación de nitrógeno en Centroamérica, Agro. Mesoamericana, Universidad de Costa Rica, Vol. 12, 25-32 p.
- Aguirre, J. (1995). Introducción a la evaluación económica y financiera de inversiones agropecuarias, IICA, San José Costa Rica, 189 p.
- Aguirre, M.; Trejo, L. y Acosta, G. (1999). Respuesta fisiológica de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) a la sequía en un sistema de raíz dividida. Agro. Mesoamericana.10 (1): 31-36 p.
- Aguirre, M.; Trejo, L.; Acosta, G.; Cadena, I. y Peña, A. (2005). Inoculación de (*Phaseolus Vulgaris L*) con tres microorganismos y su efecto en tolerancia a sequía. Agric. Téc. Mex. 23-33 p..
- Bécquer, (2004). Descripción y clasificación de rizobios: Enfoque histórico, métodos y tendencias actuales, Revista Biología, (Col.) 18(9): 1-25.
- Beaver, J. y Rosas, J. (2002). Investigación colaborativa de frijol en Centroamérica yEl Caribe (en línea). Honduras. Consultado 9 sep. 2013. Disponible en [www.Phaselieu.cesga.es/beaver.pdf](http://www.Phaselieu.cesga.es/beaver.pdf).
- BANGUAT (Banco de Guatemala). Departamento de Estadísticas, SV. (2014). Informes Sobre CAFTA: frijol (en línea) Ministerio de Agricultura y Ganadería, Oficina de Políticas y Estrategias. Con 9 sep. 2013. Disponible en: [WWW.BANGUAT.Com.gt](http://WWW.BANGUAT.Com.gt).
- Centro Internacional para la Biociencia en la Agricultura (CABI), (1998). Croprotection compendium, USA. 32 p.
- Carrillo, E. (2014). Frijol ICTA Patriarca (entrevista). Guatemala, ICTA. Instituto de Ciencia y tecnología Agrícola.

- Cabrera, C. y Castillo, C. (2010). Guía Técnica para el manejo de variedades de frijol. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria. El Salvador. 24 p.
- Carrillo, E. (1998). Evaluación bajo invernadero, de la eficiencia de cepas nativas de Rhizobium en la fijación de nitrógeno atmosférico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Guatemala, URL. 50 p.
- Casa, B. (2014). Evaluación de la fijación de nitrógeno de cepas de *Rhizobium spp.* En invernadero para arveja (*Pisum sativum*) chocho (*Lupinus mutabilis*), fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*), aba (*Vicia faba*) y vicia (*Vicia sp.*), Cutuglagua-Pichincha Tesis Ing. Agr. Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador. 208 p.
- Carrillo, H. (1990). Evaluación de la fijación de nitrógeno de cuatro cepas de (*Rhizobium leguminosarum*) biovar Phaseoli en la variedad de Frijol Quinak-Che. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Guatemala, USAC. 31 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2010). Sub región Norte de América Latina y el Caribe, Información de Sector Agropecuario, las tendencias alimentarias (en línea), Consultado 19 sep 2013, disponible en [www.sa.gob.es/cepal/tendencias alimenticias.http](http://www.sa.gob.es/cepal/tendencias_alimenticias.http).
- CIFN (Centro de Investigación sobre la Fijación de Nitrógeno). (2001). Rhizobium y su destacada simbiosis con plantas (en línea), México, UNAM, Consultado 31 Oct. 2016, disponible en <http://WWW.biblioweb.tic.unam.mx/libros/http>.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) (1988), La formulación de Recomendaciones a partir de datos agrónomos, Manual metodológico de evaluación económica. México, CIMMYT, 28 p.
- Cronquist, A. (1981). Sistema integrado de clasificación de plantas con flores. Nueva York, US, Columbia University Press. Jardín botánico de Nueva York. 1261 p.
- Cruz, M. (2014). Evaluación de diferenciales de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) para evaluar la respuesta a la inoculación con cepas de Rhizobium. Tesis Ing. Agr. Honduras, Zamorano, EAP. 28 p.

- Cuadrado, B; Rubio, G. y Santos, W. (2009). Caracterización de cepas de rhizobium y bradyrhizobium con habilidad de nodulación seleccionadas de los cultivos de frijol (*Caupivigna unguiculata*) como potencial bionóculos. Revista colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá 38 (1): 1-45.
- De León, L. (2010). Producción Comercial y de semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. Guatemala. 38 p.
- Elías, R. (2000). Cuantificación de la fijación viologica de nitrógeno de cuatro cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), asociados al maíz (*Zea mayz L.*), y en monocultivo, utilizabdo <sup>15</sup>N como isotopo marcador, en el departamento de Jutiapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Guatemala, USAC. 90 p.
- Ferrera, R.; Almaráz, J.; Rodríguez, M. y Espinoza, D. (1990) Fijación simbiótica de nitrógeno en frijol. Tierra, Vol. 8,35-70 p.
- FAO. (2002). Buenas Practicas Agricolas en la producción de frijol voluble. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. 34 p.
- Gudiel, E. (2004). El cultivo del fríjol (en línea). Honduras, Dirección de Cienciay Tecnología Agropecuaria. Consultado 9 sep 2013. Disponible [www.sag.gob.hn/dicta/paginas/guia\\_frijol.htm](http://www.sag.gob.hn/dicta/paginas/guia_frijol.htm).
- Hardarson. G. y Crain, A. (2003). Optimización de la fijación biológica de N<sub>2</sub> en leguminosas. Plant y Soil 252. (1): 41-54.
- Herrera, E. (2005). Información sobre el municipio de Quezada (en línea). Consultado 9 Sep 2013. Disponible en <http://pbase.com/m-escalante-herrera/quezada/htm>.
- Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA), Nic (2009). Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucia, Tesutepe y San Lorenzo, del departamento de Boaco, Nicaragua Guía Técnica. 28 p.

- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), Gua. (1996). ICTA Altense, ICTA Hunapú, dos nuevas variedades de frijol para el altiplano de Guatemala. Guatemala. 6 p. (Publicación Técnica no. 33).
- López, E. y González, B. (2013). Fundamentos y aplicación en agronomía. Diseño y Análisis de experimentos. USAC. Facultad de agronomía, 50p.
- Martinez, G.; Osuna, C.; Padilla, R.; Acosta, G. y Loredó, O. (2008), Tecnología para la producción en el Norte Central de México. Libro Técnico No 4. Campo experimental San Luis CIRNE-INIFAP. 206 P.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Gua. Oficina de Políticas y estrategias. (2004). Informe sobre CAFTA: frijol (en línea), Consultado 9 sep 2013. Disponible: [www.agronegocios.gob.docx/frijol](http://www.agronegocios.gob.docx/frijol).
- Paredes, M. (2013). Fijación biológica de Nitrógeno en leguminosas y gramíneas (en línea) Trabajo final de Ingeniería. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Católica Argentina. Disponible en <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar>. Consultado 2 Nov. 2016.
- Pineda, P. (1992). Mejoramiento de la fijación biológica del nitrógeno en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en el Perú. Documento de trabajo No. 18. CIAT, Cali Colombia.
- Quiñonez, J. (1996). Respuesta a la Inoculación de *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* en 4 Variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris L.*), con Potencial de Comercialización en el Altiplano Central. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Guatemala, USAC. 69 p
- Reyes, A.; Ramírez, M. y Lozano, A. (1992). Caracterización de cepas de *Rhizobium* sp. que nodula frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*). Documento de investigación Vol. 21, No.6, Dpto. de química, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, P. 749.
- Ruiz, E. (1999). Requerimientos Agroecológicos de Cultivos y Estudio clima del clima y suelo de Cultivo. 2 4p.

- Rodriguez, B. (2009) Evaluación de la biofertilización de frijol con cepas nativas de Rhizobium aisladas de un utisol de la altiplanicie del estado Guánico, INIA(Instituto Nacional de Investigación Agrícola) 192 p.
- Rosas, J.; Castro, A. y Flores, E. (1999). Recomendaciones para el manejo de variedades de frijol. El Zamorano, Honduras, C. A.
- Smith, M.; Hartnett, D. y Ricec, W. (2003). Respuesta del cultivo de frijol a la fertilización Biológica con Rhizobium etlli resistente a diazinon, 32 p.
- Sawada, H. Kuykendall, L. y Young, J. (2003). Changing concepts in the systematic of bacterial, 35 p.
- Urzúa H. (2005). Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile, Departamento de Ciencias Vegetales, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile 233- 150 p.

## XI. ANEXOS

Cuadro 19. Cantidad de nutrientes disponibles en el suelo en mg/L según análisis de suelo realizado.

Nutrientes	mg/L	pH suelo
		6.53
N	-----	
P	16.13	
K	0.27	
Ca	7.28	
Mg	3.70	
S	12.03	

Cuadro 20. Promedio de tratamientos comparados, de la variable peso de la materia seca de 10 plantas muestreadas a los 55 días de la siembra.

Tratamientos	gramos de materia seca	
100 kg/ha nitrógeno	64.70	a
Cepa CIAT 166	52.90	a b
Cepa CIAT 151	52.50	a b
Cepa CIAT 899	44.80	b
Cepa CIAT 632	44.20	b
Testigo Absoluto	42.90	b

(Carrillo, 1990).

Cuadro 21. Características Agronómicas y producción de materia seca en frijol inoculado con biofertilizantes

Tratamiento	Altura (cm)	Cobertura en (cm <sup>2</sup> )	Materia seca (g/5 plantas)
Rhizobium	52 a	51.8 a	23.8 a
Fert. Químico (40-60-00)	52.1 a	49.6 a	22.8 a
Testigo absoluto	46.9 b	46.4 a	17.6 b

(Martínez, Osuna, Padilla, Acosta y Loredo., 2008).

Cuadro 22. Rendimientos obtenidos en la validación técnica de inoculación en frijol en El Salvador.

Tratamiento	Rendimiento kg/ha	Grupos
Fertilización intermedia	1156	A
Fertilización Completa	893	B
Inoculado	721	B
Testigo absoluto	512	C

(Acuña, Rodríguez, Llano, Calderón, Flores, y Lépiz, 2001).

Cuadro 23. Rendimientos obtenidos en la validación técnica de inoculación en frijol en Panamá

Tratamiento	Rendimiento kg/ha	Grupos
Fertilización Completa	2902	A
Fertilización Intermedia	2499	B
Inoculado	2423	B
Testigo absoluto	2085	C

(Acuña, Rodríguez, Llano, Calderón, Flores, y Lépiz, 2001).

Cuadro 24. Rendimientos obtenidos en la validación técnica de inoculación en frijol en Costa Rica

Tratamiento	Rendimiento kg/ha	Grupos
Fertilización Completa	1003	A
Fertilización Intermedia	971	A
Inoculado	772	B
Testigo absoluto	688	B

(Acuña, Rodríguez, Llano, Calderón, Flores, y Lépiz, 2001).

Cuadro 25. Promedio de tratamientos comparados de la variable peso promedio de nódulos de 10 plantas a los 56 días de la siembra.

Tratamientos	gramos/10 plantas	
Cepa CIAT 151	9.30	a
Testigo	8.60	a
Cepa CIAT 899	7.23	a
Cepa CIAT 166	6.48	a
Cepa CIAT 632	6.43	a
100/ha de Nitrógeno	4.00	b

(Carrillo, 1990)

Cuadro 26. Costo de producción para una hectárea de frijol utilizando fertilizantes químicos y el manejo agronómico aplicado en el ensayo experimental.

CONCEPTO	UNIDAD MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
I). COSTO DIRECTO				<u>Q 3,395.00</u>
1. RENTA DE LA TIERRA				Q 300.00
2. MANO DE OBRA				<u>Q 1,800.00</u>
a). Preparación de la tierra	Jornal	4.00	Q 50.00	Q 200.00
b). Siembra	Jornal	8.00	Q 50.00	Q 400.00
c). Fertilización	Jornal	4.00	Q 50.00	Q 200.00
d). Limpias	Jornal	6.00	Q 50.00	Q 300.00
e). Control fitosanitario	Jornal	6.00	Q 50.00	Q 300.00
F). Cosecha	Jornal	8.00	Q 50.00	Q 400.00
3. INSUMOS				<u>Q 1,295.00</u>
a) Semilla	kilos	41.00	Q 11.00	Q 451.00
b) Insecticida	Litro	1.00	Q 140.00	Q 140.00
c) Fungicida	Bolsa	2.00	Q 150.00	Q 300.00
- Sistémico				
- Foliares	Litro	1.00	Q 60.00	Q 60.00

d) Fertilizantes					
Nitrogenados	Kilos	80.00	Q 4.30		Q 344.00
II). COSTOS INDIRECTOS					<u>Q 169.75</u>
a) Imprevistos ( 5% s/C.D)					Q 169.75
III). COSTO TOTAL POR HECTAREA					<u>Q 3,564.75</u>

Cuadro 27. Costo de producción para una hectárea de frijol utilizando biofertilizante y con el mismo manejo agronómico aplicado en el ensayo experimental.

CONCEPTO	UNIDAD MEDIDA	CANTI DAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
I). COSTO DIRECTO				<u>Q 2,941.00</u>
4. RENTA DE LA TIERRA				Q 300.00
5. MANO DE OBRA				<u>Q 1,600.00</u>
a). Preparación de la tierra	Jornal	4.00	Q 50.00	Q 200.00
b). Siembra	Jornal	8.00	Q 50.00	Q 400.00
c). Fertilización	Jornal	0.00	Q 00.00	Q 00.00
d). Limpias	Jornal	6.00	Q 50.00	Q 300.00
e). Control fitosanitario	Jornal	6.00	Q 50.00	Q 300.00
F). Cosecha	Jornal	8.00	Q 50.00	Q 400.00
6. INSUMOS				<u>Q 1,041.00</u>
e) Semilla	kilos	41.00	Q 11.00	Q 451.00
f) Insecticida	Litro	1.00	Q 140.00	Q 140.00
g) Fungicida				
- Sistémico	Bolsa	2.00	Q 150.00	Q 300.00
- Foliares	Litro	1	Q 60.00	Q 60.00

h) BIOFERTILIZACION				
Rhizobium para inocular	kilo	1	Q 90.00	Q 90.00
II). COSTOS INDIRECTOS				<u>Q 147.05</u>
b) Imprevistos ( 5% s/C.D)				Q 147.05
III). COSTO TOTAL POR HECTAREA				<u>Q 3,088.05</u>

Cuadro 28. Costo de producción para una hectárea de frijol sin la utilizando de biofertilizante y fertilizante químico utilizando el mismo manejo agronómico aplicado en todo el ensayo experimental.

CONCEPTO	UNIDAD MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
I). COSTO DIRECTO				<u>Q 2,851.00</u>
7. RENTA DE LA TIERRA				Q 300.00
8. MANO DE OBRA				<u>Q 1,600.00</u>
a). Preparación de la tierra	Jornal	4.00	Q 50.00	Q 200.00
b). Siembra	Jornal	8.00	Q 50.00	Q 400.00
c). Fertilización	Jornal	0.00	Q 00.00	Q 00.00
d). Limpias	Jornal	6.00	Q 50.00	Q 300.00
e). Control fitosanitario	Jornal	6.00	Q 50.00	Q 300.00
F). Cosecha	Jornal	8.00	Q 50.00	Q 400.00
9. INSUMOS				<u>Q 951.00</u>
i) Semilla	kilos	41.00	Q 11.00	Q 451.00
j) Insecticida	Litro	1.00	Q 140.00	Q 140.00
k) Fungicida				
- Sistémico	Bolsa	2.00	Q 150.00	Q 300.00
- Foliares	Litro	1.00	Q 60.00	Q 60.00

I) BIOFERTILIZACION					
Rhizobium para inocular	kilo	0.00	Q 0.00.00	Q 0.00.00	
II). COSTOS INDIRECTOS					<u>Q 142.55</u>
c) Imprevistos ( 5% s/C.D)					Q 142.55
III). COSTO TOTAL POR HECTAREA					<u>Q 2,993.55</u>

Cuadro 29. Costos de producción por rubro por hectárea de frijol para cada uno de los tratamientos evaluados.

Rubro	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Renta de tierra	Q300.00	Q 300.00				
Mano de obra	Q 1,400.00	Q 1,400.00	Q 1,400.00	Q 1,400.00	Q 1,400.00	Q 1,400.00
Preparación de la tierra	Q 200.00	Q 200.00	Q 200.00	Q 200.00	Q 200.00	Q 200.00
Fertilización	Q 0.00	Q 0.00	Q 0.00	Q 0.00	Q 200.00	Q 0.00
Insumos	Q 951.00	Q 951.00	Q 951.00	Q 951.00	Q 951.00	Q 951.00
Fertilizante	Q 0.00	Q 0.00	Q 0.00	Q 0.00	Q 344.00	Q 0.00
Rhizobium para inocular	Q 36.00	Q 54.00	Q 72.00	Q 90.00	Q 0.00	Q 0.00
Costos indirectos	Q 144.35	Q 145.25	Q 146.15	Q 147.05	Q 169.75	Q142.55
Total:	Q 3,031.35	Q 3,050.25	Q 3,069.15	Q 3,088.05	3,564.75	Q 2,993.55
Incremento de costos Variable (CV)	Q 36.00	Q 54.00	Q 72.00	Q 90.00	Q 544.00	Q 00.00

Cuadro 30. Respuesta del cultivo de frijol la fertilización biológica con Rhizobium etli resistente a diazinón.

Diámetro de hoja cm.	Altura de Planta en cm.	Numero de nódulos	Peso seco follaje en g	Peso seco nódulos en g
2.7	23	27	6	0.52
3.5	30	40	5.3	0.53
3.4	23	23	4.2	0.12

(Smith,Hartnett y Ricec,2003).

Cuadro 31. Valores P del análisis estadístico del rendimiento de grano, nodulación (escala visual 1-9), pesos secos del follaje (PSF), nódulos (PSN) y raíces (PSR) de genotipos de frijol común inoculados con un inoculante mezcla de las cepas de *Rhizobium* CIAT 632 y CIAT 899. Ensayo en Camas, Zamorano, Honduras 2014.

Genotipo	Valor P				
	Nodulación	PSF	PSN	PSR	Rendimiento
Factor	0.1566ns	0.0657ns	0.2942ns	0.0917ns	0.0005**

ns y \*\* No significativo y altamente significativo al  $P < 0.01$ .  
(Cruz, 2014)

Cuadro 32. Comparación de medias para la variable número de nódulos de 10 plantas, con y sin inoculante en las localidades de Chimaltenango y Patzícia.

Localidad	Variables	Tratamientos	Media
Chimaltenango	Número de nódulos	Con inoculante	964.94 a
		Sin inoculante	797.31 b
		Con inoculante	801.56 a
Patzícia	Número de nódulos	Sin inoculante	668.50 b

(Quiñonez, 1996).

Cuadro 33. Efecto de la inoculación de porotos verdes (cv. Summit) sobre aspectos productivos y de fijación denitrógeno. Promedio temporadas 2000 y 2001. Suelo aluvial de Chile central.

Tratamientos	Vainas verde kg/ha	Nitrógeno fijado total %	Nitrógeno fijado en vainas kg/ha	Masa Nodular %	Ureidos %
Testigo, sin Inoculación	7.325 b	38 b	11 c	100 a	100 b
Inoculado con cepa seleccionada	10.531 a	50 a	17 a	91 a	134 a
Fertilizado con 70 kg/ha de nitrógeno	10.993 a	25 c	14 b	27 c	129 ab

(Urzúa, 2005)

Cuadro 34. Promedios y Pruebas de significación para altura de planta en la fijación de nitrógeno por cepas de *Rhizobium* spp. En el cultivo de fréjol voluble (*Phaseolus vulgaris*) bajo invernadero. Cutuglagua-Pichincha.

Tratamiento	Promedio cm/planta	Rango de significación		
UMR 1481	337.63	a		
TN Sin cepa con nitrógeno	337.43	a		
R-FR-RA-53	330.47	a		
UMR 1899	307.50	a		
R-FR-SR-38	266.60	a		
R-FR-QUI-26	264.33	b		
UMR 1478	259.80	b	c	
FR 1511	257.13	b	c	
R-FR-PE-79	257.03	b	c	
R-FR-SLA-13	255.47	b	c	
R-FR-HR-44	255.33	b	c	
R-FR-QG-63	252.40	b	c	
R-FR-ES-42	247.03	b	c	d
R-FR-TU-62	245.00	b	c	d
R-FR-QG-60	244.63	b	c	d
UMR 1278	237.47	b	c	d
Sin cepa sin nitrógeno	237.07		c	d
R-FR-PE-1	230.20		c	d
R-FR-SLA-36	217.17			d
COMPARACIONES ORTOGONALES				
Testigo nitrogenado (TN) vs. Testigo absoluto	337.43	a		
(T0) + cepas	261.24	b		
Testigo absoluto (T0) vs. cepas	237.07	b		
	262.66	a		

(Casa, 2014)



Figura 7. Cepas de Rhizobium utilizadas en el ensayo.

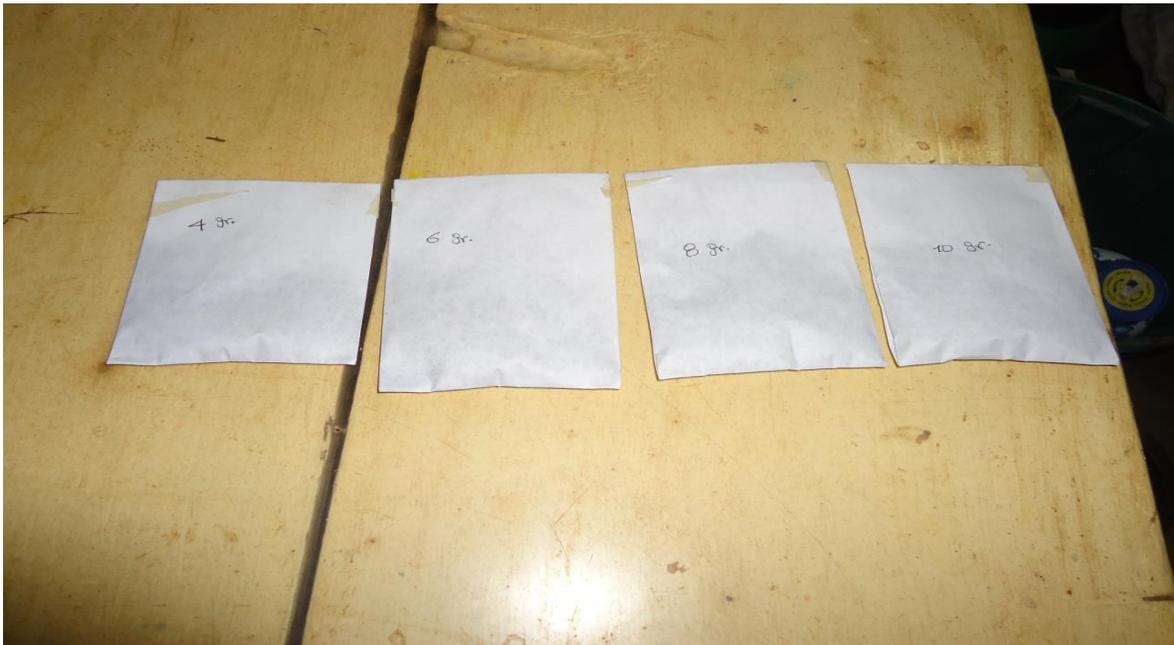


Figura 8. Dosis de Rhizobium utilizadas en el ensayo experimental

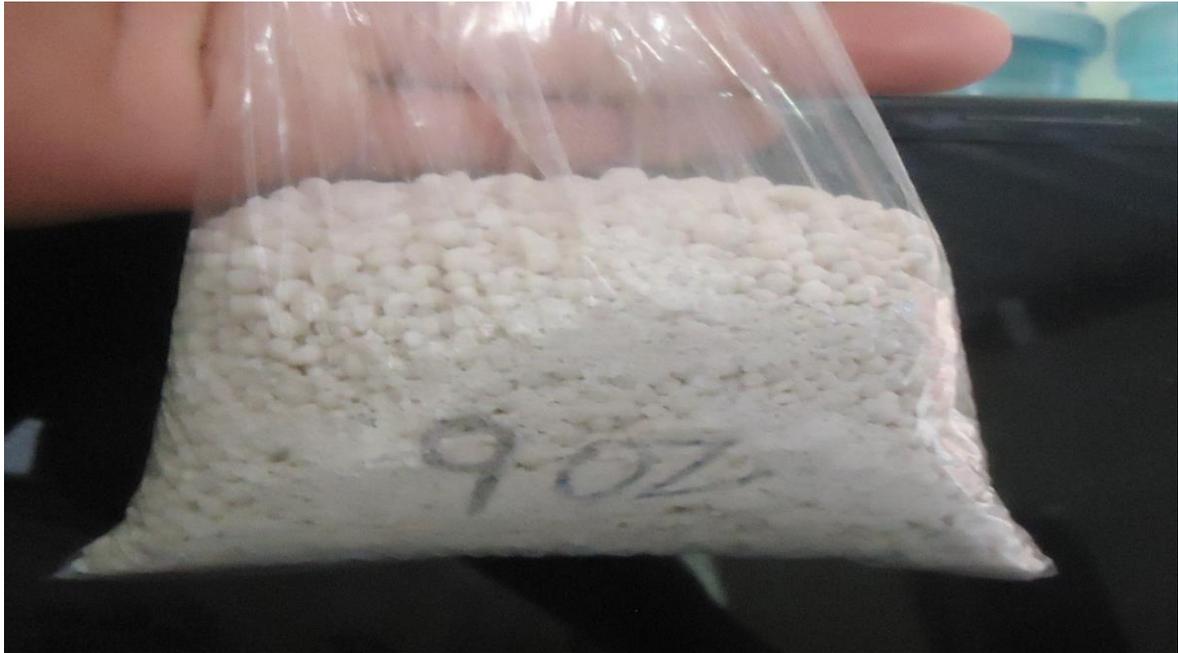


Figura 9. Dosis de Fertilizante utilizada en el ensayo en el tratamiento con N



Figura 10. Ensayo experimental 12 días después de su establecimiento.



Figura 11: Proceso de etiquetado



Figura 12. Proceso de etiquetado



Figura 13. Fertilización de las unidades experimentales con N



Figura 14. Fertilización de las unidades experimentales con N



Figura 15. Control químico de Plagas



Figura 16. Control químico de plagas



Figura 17. Frijol en floración



Figura 18. Frijol en floración



Figura 19. Unidad experimental tratada con 1kg/ha de *R. etli* y *R. tropici*.



Figura 20 Extracción de plantas para conteo de nódulos



Figura 21. Plantas extraídas para conteo de nódulos



Figura 22. Efectos de la biofertilización en la producción de nódulos.

ORDEN: 23 - 1443 ANÁLISIS: AS-2  
 CLIENTE: LUIS LEONARDO MORFIN ROSA  
 FINCA: EL COMUN  
 LOCALIZACIÓN: ALDEA LA BREA, QUEZADA, JUTIAPA  
 CULTIVO: FRUJOL  
 Fecha de Ingreso: 27/04/2014 Fecha de Ejecución: 10/05/2014 18:07 Fecha de Impresión: 13/05/2014



Informe de Resultados de Análisis de Suelos

Identificación de la Muestra		mg/L			Cmol(+)/L			mg/L			Cmol(+)/L			mg/L		%
No.	Niveles Adecuados -->	pH	Boro	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	Cobre	*A.1	Hierro	Manganeso	Zinc	*M.O.		
7590	#1	6.53	0.32	16.13	0.27	7.28	3.70	12.03	2.07	0.04	40.74	52.44	8.21	7.69		

\*A.1: Acidez Intercambiable (Hidrogeno + Aluminio)  
 \*M.O.: Materia Orgánica  
 \*C.S.: Concentración de sales

Identificación de la Muestra		Porcentaje de Saturación en la CICE					Equilibrio de Bases				Nomenclatura
Muestra	Niveles Adecuados -->	*CICE	K	Ca	Mg	A.L.	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg	Ca+Mg/K	Al - Aluminio
7590	#1	11.29	2.39	64.48	32.77	0.35	25.96	13.70	1.97	40.67	Mg - Magnesio

■ - Bajo o Fuera de Rango  
■ - Adecuado  
■ - Alto

Al - Aluminio  
 Mg - Magnesio  
 Ca - Calcio  
 K - Potasio

\*CICE=Capacidad de Intercambio Catiónico efectivo

Materia orgánica: Método de Walkley and Black  
 pH: método de potenciometría, relación 1:2.5 - Suelo:Agua  
 Solución extractante para Acidez Intercambiable con : KCl 1 Normal, metodología por volumetría.  
 Solución extractante para Azufre y Boro: FOSFATO ÁCIDO DE CALCIO metodología espectrofotometría visible  
 Solución extractante para Calcio, Magnesio: KCl 1 Normal, metodología Espectrometría de Emisión de Plasma - ICP OES  
 Solución extractante para Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc con : DTPA (ácido dietiltriisopropilamínico), metodología Espectrometría de Emisión de Plasma - ICP OES  
 Solución extractante para Fósforo: OLSEN MODIFICADO, Espectrometría de Emisión de Plasma - ICP OES  
 Solución extractante para Potasio con : OLSEN MODIFICADO, metodología Espectrometría de Emisión de Plasma - ICP OES

- 1.- Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el laboratorio y en su impresión ORIGINAL
- 2.- Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los Criterios de Aceptación establecidos por Analab.
- 3.- El laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe
- 4.- La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

*[Handwritten Signature]*  
 Ing. Dorla...  
 Coordinador de Analab

Figurara 23: Resultado de análisis de suelo realizado en el área experimental