

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

**CUANTIFICACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO  
DE CUATRO CULTIVARES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.),  
ASOCIADOS AL MAIZ (*Zea mays* L.), Y EN MONOCULTIVO,  
UTILIZANDO  $^{15}\text{N}$  COMO ISOTOPO MARCADOR,  
EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA.**

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA  
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

TESIS  
POR  
RONALD ENSHOVER ELIAS OSORIO.

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, ABRIL DEL 2000.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. William Roberto Escobar López
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Alejandro Arnoldo Hernández Figueroa
VOCAL CUARTO:	Prof. Jacobo Bolvito Ramos
VOCAL QUINTO:	Br. José Baldomero Sandoval Arriaza
SECRETARIO:	Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada

Guatemala, Abril del 2000.

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos miembros:


De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:

**CUANTIFICACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO  
DE CUATRO CULTIVARES DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.),  
ASOCIADOS AL MAIZ (Zea mays L.), Y EN MONOCULTIVO,  
UTILIZANDO <sup>15</sup>N COMO ISOTOPO MARCADOR,  
EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA.**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo,

Atentamente,



Ronald Enshover Elías Osorio.

## TESIS QUE DEDICO

**A:**

**DIOS TODO PODEROSO**

Por tu amor eterno.

**MIS PADRES**

René Domingo Elías Honorato y Martha Lidia Osorio, por todo el amor y apoyo que me han brindado desde siempre.

**A MI HERMANA**

Mayra Judith, por el cariño y respeto mostrados.

**A MI SOBRINO**

Christian Renato Nájera Elías.

**A MIS HIJOS**

René Fernando y Sofía Violela, con todo mi amor por ser la fuente de inspiración en mi vida.

**A MIS ABUELOS**

María Encarnación Honorato y Ceferino Elías (Q.E.P.D.)

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS**

En especial a Jorge Reyes, Ricardo Yup, Víctor Castellanos, Carlos Montenegro W. (Q.E.P.D.), Francisco Ibarra (Q.E.P.D.), Luis Rodríguez, José Quiñones, Miguel Ramírez y Manuel E. Elías, como muestra sincera de amistad.

## AGRADECIMIENTOS

**A:**

Mi asesor Ing. Agr. M.Sc. Rolando Gustavo Aguilera Mejía, por la valiosa asesoría brindada para la realización de esta investigación.

Ing. Agr. María Antonieta Alfaro Villatoro, Jefa del Departamento Agropecuario de la Dirección de Energía Nuclear, a través del cual se realizó la presente investigación, por su desinteresada y valiosa colaboración y asesoría.

Ing. Agr. Leroy Gillespie Macfarley, miembro del programa Frijol-I.C.T.A. Juliapa, por su colaboración en la fase de campo del experimento.

## CONTENIDO GENERAL

**PAGINA:**

	INDICE DE FIGURAS .....	iii
	INDICE DE CUADROS .....	iii
	RESUMEN .....	vi
1.	INTRODUCCION .....	1
2.	DEFINICION DEL PROBLEMA .....	3
3.	MARCO TEORICO .....	4
3.1.	MARCO CONCEPTUAL .....	4
3.1.1.	Nitrógeno del suelo .....	4
3.1.2.	Importancia del Nitrógeno en el crecimiento y desarrollo vegetal .....	4
3.1.2.1.	Fijación por Rhizobium y otros microorganismos que viven simbióticamente en las raíces de las leguminosas y otras no leguminosas .....	5
3.1.2.2.	Fijación por microorganismos que viven libremente en el suelo .....	5
3.1.2.3.	Fijación como alguno de los óxidos de Nitrógeno (descargas eléctricas) ..	5
3.1.2.4.	Fijación como amoníaco por algún proceso industrial .....	5
3.1.3.	Fijación de Nitrógeno .....	6
3.1.4.	Características del género Rhizobium .....	6
3.1.5.	Fijación simbiótica de Nitrógeno Rhizobium – Leguminosa .....	7
3.1.5.1.	Nodulinas Tempranas .....	7
3.1.5.2.	Nodulinas Tardías .....	8
3.1.6.	Bioquímica de la fijación del Nitrógeno .....	8
3.1.7.	Determinación cuantitativa de la fijación biológica de Nitrógeno .....	9
3.1.7.1.	Método de la diferencia entre los rendimientos de Nitrógeno de un sistema fijador y de otro no fijador .....	9
3.1.7.2.	Método de la reducción de acetileno .....	9
3.1.7.3.	Métodos ó técnicas isotópicas, las que se basan en el uso de <sup>15</sup> N para cuantificar la fijación de Nitrógeno en el campo y en invernadero ...	9
3.1.8.	Empleo de isótopos de Nitrógeno en la cuantificación de la fijación de Nitrógeno .....	9
3.1.8.1.	Período de crecimiento .....	11
3.1.8.2.	Patrón de distribución radicular .....	11
3.1.8.3.	Cantidad total de Nitrógeno absorbido .....	11
3.1.8.4.	Patrón de absorción de Nitrógeno .....	11
3.1.8.5.	Adaptación climática .....	11
3.1.8.6.	Altura de la planta .....	11
3.1.9.	Investigaciones de fijación biológica de Nitrógeno utilizando la técnica del <sup>15</sup> N .....	12
3.1.10.	Ventajas y desventajas en la utilización del diseño estadístico de Bloques al azar sencillo y con arreglo en parcelas divididas .....	15
3.2.	MARCO REFERENCIAL .....	16
3.2.1.	Requerimientos nutricionales de los cultivos .....	16
3.2.1.1.	Frijol .....	16

3.2.1.2.	Maíz .....	16
3.2.1.3.	Sorgo .....	16
3.2.1.4.	Mijo .....	17
3.2.2.	Características de los materiales experimentales .....	17
3.2.2.1.	Cultivares de frijol .....	17
3.2.2.2.	Cultivos de referencia .....	18
3.2.2.3.	Híbrido de maíz .....	19
3.2.3.	Localización y descripción del área experimental .....	20
3.2.3.1.	Ubicación geográfica .....	20
3.2.3.2.	Condiciones climáticas .....	20
3.2.3.3.	Condiciones edáficas .....	20
4.	OBJETIVO .....	22
5.	HIPOTESIS .....	22
6.	METODOLOGIA .....	23
6.1.	MATERIAL Y EQUIPO .....	23
6.1.1.	Material .....	23
6.1.2.	Equipo .....	24
6.2.	METODOS .....	24
6.2.1.	Diseño experimental .....	24
6.2.2.	Modelo estadístico .....	25
6.2.3.	Unidades experimentales y área del experimento .....	26
6.2.3.1.	Parcela en monocultivo (Frijol) .....	26
6.2.3.2.	Parcela isotópica .....	26
6.2.3.3.	Parcela en asocio (Maíz – Frijol) .....	28
6.2.4.	Variables respuesta .....	30
6.2.4.1.	De la parcela de rendimiento .....	30
6.2.4.2.	De la parcela isotópica .....	30
6.2.5.	Manejo del experimento .....	30
6.2.5.1.	Fase de campo cultivo frijol y maíz .....	30
6.2.5.2.	Fase de campo cultivos de referencia .....	32
6.2.5.3.	Toma de muestras .....	33
6.2.5.4.	Manejo de muestras en el laboratorio .....	34
6.2.6.	Cuantificación de las variables .....	34
6.2.6.1.	Valores medidos en campo y laboratorio .....	34
6.2.6.2.	Valores calculados .....	35
6.2.7.	Análisis de la información .....	36
7.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	37
7.1.	PESO DE LA MATERIA SECA DE LA PARTE AEREA .....	38
7.2.	PESO DE MATERIA SECA DE RAICES .....	39
7.3.	NUMERO DE NODULOS .....	41
7.4.	PESO SECO DE NODULOS .....	43
7.5.	RAICES Y NODULOS, SINTESIS .....	43
7.6.	NITROGENO TOTAL EN LAS PLANTAS .....	44
7.7.	NITROGENO FIJADO DEL AIRE .....	45
7.8.	RENDIMIENTO DE GRANO .....	46

7.9.	SINTESIS GENERAL DE DISCUSION .....	47
8.	CONCLUSIONES .....	49
9.	RECOMENDACIONES .....	50
10.	BIBLIOGRAFIA .....	51
11.	APENDICE .....	54

### INDICE DE FIGURAS

	<b>PAGINA:</b>
1. UNIDAD EXPERIMENTAL DE MONOCULTIVO .....	27
2. UNIDAD EXPERIMENTAL ASOCIO MAIZ - FRIJOL .....	29
3A. LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA EXPERIMENTAL .....	55
4A. CROQUIS GENERAL DEL EXPERIMENTO .....	56

### INDICE DE CUADROS

	<b>PAGINA:</b>
1. Tratamientos evaluados en el experimento .....	25
2. Resumen del análisis de varianza de los cultivares obtenido con los datos Recabados a los 15, 30, 45 y 57 días después de la siembra .....	37
3. Resultado de la prueba múltiple de medias de Duncan para peso seco de la parte aérea entre variedades a los 57 días después de la siembra .....	38



4.	Resumen de las pruebas múltiples de medias de Duncan para la variable peso seco de raíces (Kg/ha), de los cultivares en los muestreos realizados a los 15, 30, 45 y 57 días después de la siembra .....	40
5.	Resumen de las pruebas múltiples de medias de Duncan para la variable Número de nódulos de los cultivares en los muestreos realizados a los 15, 30 y 57 días después de la siembra .....	42
6.	Resultado de la prueba múltiple de medias de Duncan para la variable número de nódulos en la interacción sistema de cultivo – cultivares con los datos recabados a los 45 días después de la siembra .....	42
7.	Resultado de la prueba múltiple de medias de Duncan para Nitrógeno total (Kg/Ha) entre variedades a los 57 días después de la siembra .....	44
8.	Resultado de la prueba múltiple de medias de Duncan para Nitrógeno fijado (% y Kg/Ha) entre variedades a los 57 días después de la siembra .....	46
0A.	Detalle de códigos utilizados en los cuadros subsiguientes .....	57
1A.	Datos obtenidos en el muestreo realizado a los 15 días después de la siembra ..	58
2A.	Datos obtenidos en el muestreo realizado a los 30 días después de la siembra ..	59
3A.	Datos obtenidos en el muestreo realizado a los 45 días después de la siembra ..	60
4A.	Datos obtenidos en el muestreo realizado a los 57 días después de la siembra ..	61
5A.	Análisis de varianza de la Materia seca de la parte aérea (Kg/Ha). Muestreo 1 ...	64
6A.	Análisis de varianza de la Materia seca de raíces (Kg/Ha). Muestreo 1 .....	64
7A.	Análisis de varianza del Nitrógeno total (Kg/Ha). Muestreo 1 .....	65
8A.	Análisis de varianza del Número de nódulos/Ha. Muestreo 1 .....	65
9A.	Análisis de varianza del peso seco de nódulos (Kg/Ha). Muestreo 1 .....	66
10A.	Análisis de varianza de la Materia seca de la parte aérea (Kg/Ha). Muestreo 2 ...	66
11A.	Análisis de varianza de la Materia seca de raíces (Kg/Ha). Muestreo 2 .....	67
12A.	Análisis de varianza del Nitrógeno total (Kg/Ha). Muestreo 2 .....	67
13A.	Análisis de varianza del Número de nódulos/Ha. Muestreo 2 .....	68
14A.	Análisis de varianza del peso seco de nódulos (Kg/Ha). Muestreo 2 .....	68
15A.	Análisis de varianza de la Materia seca de la parte aérea (Kg/Ha). Muestreo 3 ...	69

16A.	Análisis de varianza de la Materia seca de raíces (Kg/Ha). Muestreo 3 .....	69
17A.	Análisis de varianza del Nitrógeno total (Kg/Ha). Muestreo 3 .....	70
18A.	Análisis de varianza del Número de nódulos/Ha. Muestreo 3 .....	70
19A.	Análisis de varianza del peso seco de nódulos (Kg/Ha). Muestreo 3 .....	71
20A.	Análisis de varianza de la Materia seca de la parte aérea (Kg/Ha). Muestreo 4 ...	71
21A.	Análisis de varianza de la Materia seca de raíces (Kg/Ha). Muestreo 4 .....	72
22A.	Análisis de varianza del Nitrógeno total (Kg/Ha). Muestreo 4 .....	72
23A.	Análisis de varianza del Nitrógeno fijado (%). Muestreo 4 .....	73
24A.	Análisis de varianza del Nitrógeno fijado (Kg/Ha). Muestreo 4 .....	73
25A.	Análisis de varianza del Número de nódulos/Ha. Muestreo 4 .....	74
26A.	Análisis de varianza del peso seco de nódulos (Kg/Ha). Muestreo 4 .....	74
27A.	Análisis de varianza del rendimiento en grano de frijol (Kg/Ha). Muestreo 4 .....	75
28A.	Resultado del análisis de suelo efectuado en el laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, Guatemala .....	76

**CUANTIFICACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO DE CUATRO CULTIVARES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.), ASOCIADOS AL MAIZ (*Zea mays* L.), Y EN MONOCULTIVO, UTILIZANDO  $^{15}\text{N}$  COMO ISOTOPO MARCADOR, EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA.**

**CUANTIFICATION OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION IN FOUR VARIETIES OF BLACK BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.), CULTIVATED WITH CORN (*Zea mays* L.), AND MONOCULTIVATED, USING  $^{15}\text{N}$  AS ISOTOPIC MARKER, IN THE DEPARTMENT OF JUTIAPA.**

**RESUMEN**

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), constituye uno de los principales cultivos en nuestro medio, sin embargo no se cuenta con suficiente información acerca su potencial de fijación biológica de Nitrógeno, característica de suma importancia que debería ser aprovechada para reducir costos y pérdida de características propias del suelo (físicas y químicas), por lo cual la presente investigación tuvo como objetivo cuantificar el Nitrógeno procedente de la fijación simbiótica de *Rhizobium* en cuatro cultivares de frijol sembradas en monocultivo y en asocio con maíz.

La presente investigación consistió en evaluar 4 cultivares de frijol, para determinar el potencial de fijación biológica de Nitrógeno, sembradas en el sistema de cultivo maíz-frijol, utilizado en la región de Jutiapa así como también en monocultivo. Los materiales evaluados fueron: ICTA-Ostúa y Santa Gertrudis que son materiales adaptados a la zona, Rabia de gato que es un material nativo de esa región, JU-937 que es un cultivar proveniente de los Estudios Centroamericanos de Adaptación y Resistencia (ECAR), seleccionado por haber demostrado una alta capacidad de fijación de Nitrógeno atmosférico.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, se emplearon 4 bloques, en donde la parcela grande fué el sistema de cultivo, y las parcelas pequeñas los cultivares evaluados. Cada unidad experimental del sistema en monocultivo tenía un área bruta de 14.40 m<sup>2</sup>, y

las asociadas con maíz 18 m<sup>2</sup>; dentro de estas parcelas se delimitó una parcela llamada isotópica en donde se aplicó el fertilizante marcado con <sup>15</sup>N. Se realizaron cuatro muestreos (15, 30, 45 y 57 días después de la siembra). Se utilizó Sorgo (*Sorghum vulgare*), y Mijo (*Pennisetum glaucum*), como cultivos de referencia (no fijadores de Nitrógeno).

Las variables respuesta consideradas en la investigación fueron: Materia seca de la parte aérea y raíces de las plantas, Nitrógeno total, número y peso seco de nódulos, Nitrógeno fijado, rendimiento en grano. El método utilizado para determinar la relación <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N fue Kjeldahl-Oxidación-Rittenberg, a través de un espectrómetro de emisión tipo NOI-6E.

Se determinó que no existe una relación directa entre el sistema de cultivo (asociado ó 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. Se pudo establecer también que los cultivares ICTA-Ostúa, Santa Gertrudis y JU-937 demostraron tener el mismo potencial de fijación del Nitrógeno atmosférico entre ellas y solamente el cultivar nativo Rabia de gato mostró ser inferior a ellos, aunque tal resultado pudo haber sido influenciado por el ataque de mosaico dorado que afectó a dicho cultivar. De todas las variables que se evaluaron solamente el peso seco de raíces y el número de nódulos presentaron diferencias en los cuatro muestreos, sin embargo no se encontró una correlación directa entre estas variables y la capacidad de fijación biológica de Nitrógeno.

JU-937 es un cultivar que se encuentra bajo evaluación, pero hasta el momento bajo las condiciones en que se ha estudiado ha demostrado tener un alto potencial de fijación del Nitrógeno atmosférico, se recomienda utilizarlo en programas de mejoramiento genético en donde se desee mejorar esta característica.

## 1. INTRODUCCION

Para la población guatemalteca, el frijol (Phaseolus vulgaris L.), es una planta que por razones ancestrales su cultivo y consumo es generalizado. Además de lo expuesto, es la principal fuente de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, en la dieta diaria del guatemalteco.

El frijol como la mayoría de las leguminosas presenta la importante característica de realizar simbiosis con bacterias del género **Rhizobium**, a través de la cual puede aprovechar el Nitrógeno atmosférico fijado por las bacterias. La magnitud de dicho aprovechamiento es muy variable entre cultivares, algunas de las razones principales de tal variabilidad son las diferencias o características genéticas del cultivo, el simbiote, así como también clima y suelo de la región; otro factor que ha causado interés es conocer cuál es el efecto (estímulo ó interferencia) que pueda provocar un cultivo en siembra asociada con el frijol. De esta manera, resulta importante realizar investigaciones para determinar cultivares de frijol con alta capacidad de fijación biológica de Nitrógeno, en áreas determinadas y bajo condiciones específicas, con lo cual se obtenga información que permita realizar evaluaciones en los mejores cultivares con distintos niveles de fertilización para aprovechar su potencial de fijación biológica de Nitrógeno, reduciendo costos por utilización de fertilizantes nitrogenados.

En la presente investigación se evaluó bajo las condiciones del Centro de Producción de Oriente del Instituto de Ciencia y Tecnología (I.C.T.A.) Jutiapa, la capacidad de fijación biológica de Nitrógeno que poseen cuatro cultivares de frijol, como lo son la JU-973 que se presenta bastante promisorio para esta zona, la ICTA-OSTUA, variedad de uso generalizado en la zona, una variedad criolla altamente fijadora llamada Rabia de gato, y una de reciente introducción como la ICTA-Santa Gertrudis; dichos cultivares fueron evaluados en monocultivo y en asocio.

La capacidad de fijación biológica fué cuantificada a través del método de dilución isotópica del  $^{15}\text{N}$ , para lo cual se contó con la colaboración de la Dirección General de Energía Nuclear, proporcionando los materiales, reactivos y equipo necesario.

## 2. DEFINICION DEL PROBLEMA

El frijol (Phaseolus vulgaris L.), al igual que muchas otras leguminosas realiza simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, fijando Nitrógeno de la atmósfera; a pesar de constituirse como un cultivo de gran importancia en nuestro medio, hasta el momento no se cuenta con suficiente información sobre la capacidad de fijación biológica de Nitrógeno que poseen ciertas variedades de frijol.

En la región de Juliapa los agricultores utilizan principalmente los sistemas de siembra de frijol en monocultivo y asociado con maíz; dado que en asociación ambos cultivos compiten por agua, nutrientes, luz y espacio, surge la interrogante sobre el efecto que la misma pueda provocar sobre la capacidad de fijación biológica de nitrógeno en los cultivares.

De acuerdo a lo anterior, la presente investigación se fundamentó en determinar durante un ciclo de cultivo el potencial de fijación biológica de Nitrógeno que poseen cuatro cultivares de frijol de interés en la región de Juliapa, cuando se siembran en monocultivo y en asocio con maíz.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1. MARCO CONCEPTUAL:

##### 3.1.1. NITROGENO DEL SUELO:

Donahue (8) afirma que el Nitrógeno es el elemento más crítico en el crecimiento de las plantas debido a que es un constituyente de las proteínas, la clorofila, los ácidos nucleicos y otras sustancias de la planta. El mismo autor ha calculado que existen casi 630 kilogramos de Nitrógeno, en forma de gas  $N_2$ , en cada metro cuadrado de la superficie de la tierra, aunque indica que en esta forma no puede ser absorbido por la mayoría de las plantas (siendo las leguminosas la excepción); por lo que debe ser transformado a otras formas. Las plantas pueden utilizarlo en forma de catión, amonio ( $NH_4^+$ ) o en forma de anión, nitrato ( $NO_3^-$ ), y solamente una pequeña parte del nitrógeno del suelo está presente en estas formas.

##### 3.1.2. IMPORTANCIA DEL NITROGENO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETAL:

Bidwell (2) indica que el Nitrógeno es de extraordinaria importancia en las plantas porque es un constituyente de proteínas, ácidos nucleicos y muchas otras sustancias importantes, y que cuando se presentan deficiencias de Nitrógeno casi invariablemente se traduce en una palidez gradual o clorosis de las hojas maduras que llegan a tomarse amarillentas y se desprenden. La clorosis se extiende de las hojas maduras a las jóvenes, las que usualmente no muestran los síntomas característicos de deficiencia hasta que están muy avanzados en las partes viejas de la planta, lo que indica que el nitrógeno de las hojas maduras se moviliza y transporta a las partes jóvenes en crecimiento conforme se necesita. Agrega que un síntoma típico de deficiencia de Nitrógeno es la producción de antocianinas en tallos, nervaduras foliares y peciolo los cuales pueden volverse rojos o púrpuras. Las



hojas jóvenes de plantas deficientes a veces son más erguidas y se extienden menos de lo normal; así mismo, la ramificación o ahijamiento se suprime debido al continuo letargo de yemas laterales.

De acuerdo a Bidwell (2), las plantas responden de distintas maneras a suministros altos o bajos de Nitrógeno. Por ejemplo la sobreabundancia de Nitrógeno causa con frecuencia una gran proliferación de tallos y hojas, pero determina una reducción de frutos en plantas de cultivo. En otros casos se producen vástagos grandes, verde-oscuros y de apariencia saludable pero de raíces escasas. Un suministro de Nitrógeno ligeramente reducido, en relación al suministro de potasio y fósforo, dá generalmente una producción mucho mayor de semilla y fruto de los cultivos agrícolas.

Fassbender y Bornemisza (10), indican que el Nitrógeno orgánico representa entre el 85 y 95 % del Nitrógeno total y de esto, el 20 y 40 % de Nitrógeno se encuentra en forma de aminoácidos. El Nitrógeno inorgánico se encuentra en el rango de 5 y 15 %. Por lo general el Nitrógeno intercambiable ( $\text{N-NH}_4^+$ ) no supera el 2 % del Nitrógeno total, en forma inorgánica se presenta como óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico (NO), dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

Tisdale y Nelson (24), afirman que la fuente final del Nitrógeno utilizado por las plantas es el gas inerte  $\text{N}_2$ , el cual constituye proximadamente el 78% de la atmósfera terrestre. Sin embargo, en esta forma elemental, no es utilizable por las plantas superiores. Los caminos principales por los que el nitrógeno es convertido a formas utilizables por las plantas son los siguientes:

- 3.1.2.1. Fijación por Rhizobium y otros microorganismos que viven simbióticamente en las raíces de las leguminosas y otras determinadas plantas no leguminosas.
- 3.1.2.2. Fijación por microorganismos que viven libremente en el suelo (asimbióticos).
- 3.1.2.3. Fijación como alguno de los óxidos de Nitrógeno, por las descargas eléctricas atmosféricas.
- 3.1.2.4. Fijación como amoníaco,  $\text{NO}_3^-$  ó  $\text{CN}_2^-$ , por alguno de los varios procesos industriales para la

fabricación de los fertilizantes nitrogenados sintéticos.

### 3.1.3. FIJACION DEL NITROGENO:

Donahue (8), indica que la fijación de Nitrógeno es una acción microbial en la cual Nitrógeno ( $N_2$ ) es tomado del aire del suelo y cambiado a las formas utilizables por las plantas, la cual puede darse en dos formas: simbiótica y asimbiótica. En la fijación simbiótica la bacteria (género *Rhizobium* principalmente), causa la formación de nódulos radiculares en ciertas plantas huésped y se establece o habita estos nódulos, donde fija Nitrógeno por ciertos procesos. En la fijación asimbiótica, tipos específicos de microorganismos que viven independientemente en el suelo y en el agua, convierten Nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) en Nitrógeno en forma de tejido de su cuerpo, dejándolo para que la planta lo use después que se mueren y descomponen.

### 3.1.4. CARACTERISTICAS DEL GENERO RHIZOBIUM:

Brock (4) afirma que estas bacterias son bacilos gramnegativos, flagelados, capaces de entrar en simbiosis con leguminosas, induciendo nódulos radiculares y fijando el Nitrógeno libre durante esta simbiosis. Son bacilos cortos con un tamaño aproximado de 0.5 a 0.9 micras por 1.3 a 3 micras, los cuales pueden presentarse solos o en pares, se movilizan por medio de unos pocos flagelos colocados en el peritrico, polares o subpolares.

### 3.1.5. FIJACION SIMBIOTICA DE NITROGENO RHIZOBIUM-LEGUMINOSA:

Los beneficios recíprocos de esta relación simbiótica se basan en la asociación de bacterias del género *Rhizobium* con la mayoría de plantas de la familia de las leguminosas. Esta asociación provoca la formación de un nuevo órgano, el nódulo, que se localiza en las raíces de la planta y es en donde se lleva a cabo la fijación de Nitrógeno atmosférico (9).

La nodulación de las leguminosas es un fenómeno frecuente; sin embargo, hay unas especies que no pueden ser infectadas por el *Rhizobium*, y por lo tanto no fijan Nitrógeno. Se ha observado que el 90% de las papilionáceas y el 90% de las mimosáceas poseen nódulos, mientras que esto sólo ocurre con el 30% de las caesalpináceas. Esto demuestra que la fijación de Nitrógeno es un factor frecuente, más no obligatorio en la nutrición de las plantas de esta familia (9).

Fassbender y Bornemisza (10), indican que la vida de las bacterias se acomoda al ritmo de crecimiento de la planta hospedera, localizándose en el parénquima radical, en donde producen una división celular acelerada, haciendo aparecer así los nódulos radiculares. Afirman además, que en los primeros días de la inoculación, las bacterias se alimentan exclusivamente de la planta hospedera, se reproducen rápido y al llegar al estado de bacteroides empieza la fijación del  $N_2$ , el cual en un inicio es utilizado en su metabolismo, y a medida que aumenta la fijación comienzan a ceder Nitrógeno a la planta hospedera, etapa que generalmente coincide con la época de mayor necesidad de Nitrógeno en la planta. Al respecto Peña Cabriales (20), indica que un grupo de proteínas son sintetizadas en la planta huésped como respuesta a la infección por *Rhizobium*. Estas proteínas son llamadas nodulinas, las cuales pueden ser divididas en dos grupos:

3.1.5.1. Nodulinas tempranas: aquellas que son expresadas al principio del desarrollo del nódulo y se cree que juegan un papel importante en el proceso de infección bacteriana, la transducción de señales en la estructura del nódulo.

3.1.5.2. Nodulinas tardías: aparecen cerca del momento en que la fijación de Nitrógeno ocurre y parecen funcionar en el proceso mismo de fijación y en la asimilación del Nitrógeno.

Según Miller (18), la cantidad de Nitrógeno fijado varía mucho debido a diversas condiciones tales como la clase de leguminosa, naturaleza del suelo, efectividad de las bacterias presentes, condiciones de la estación. Parece ser que las relaciones íntimas que existen entre las bacterias nodulares y sus plantas hospederas se determinan principalmente por el aprovisionamiento de carbohidratos en la planta huésped. Cualquier condición del medio ambiente que afecte la producción de carbohidratos en la planta afectará automáticamente la cantidad de Nitrógeno por buenas que sean las cepas de bacterias para infectar a las leguminosas. "Se ha encontrado también que la fijación simbiótica de nitrógeno se inhibe cuando hay abundancia de Nitrógeno asimilable en el suelo".

### 3.1.6. BIOQUIMICA DE LA FIJACION DEL NITROGENO:

De acuerdo con Brock (4), la fijación del Nitrógeno implica la actividad de la enzima nitrogenasa, una gran proteína con dos componentes que contiene Hierro y Molibdeno. Además afirma que la nitrogenasa en los nódulos tiene ciertas características como la sensibilidad al  $O_2$ , capacidad para reducir al acetileno, así como al  $N_2$ . Indica también que la nitrogenasa se encuentra dentro de los mismos bacteroides y que es indudablemente sintetizada por ellos, en vista de que los cultivos puros de *Rhizobium* sintetizan nitrogenasa cuando crecen microaerófilicamente.

Brock (4) indica que los compuestos orgánicos como el succinato sintetizados por las hojas de las plantas durante la fotosíntesis, son translocados hacia los bacteroides para servir como donadores de electrones para la producción de adenosina trifosfato (ATP), y la reducción del  $N_2$ . Para la fijación del  $N_2$  por los bacteroides se requiere ATP, al igual que para los otros sistemas. El primer producto

estable de la fijación del  $N_2$  por los bacteroides es el  $NH_3$ , que es convertido en aminoácido y estos últimos a su vez son transferidos del bacteroide a las células de las raíces de la planta, y de ahí al resto del vegetal.

### 3.1.7. DETERMINACION CUANTITATIVA DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO:

Zapata (25), afirma que una de las mayores limitaciones en los estudios de nitrógeno ha sido la escasez de métodos adecuados para cuantificar dicho proceso, ya que cada uno presenta ventajas ó desventajas según las condiciones bajo las cuales se desarrolla la investigación.

En general, los métodos de medición de la fijación biológica de nitrógeno pueden agruparse en 3 clases:

- 3.1.7.1. Método de la diferencia entre los rendimientos de Nitrógeno de un sistema fijador y de otro no fijador.
- 3.1.7.2. Método de la reducción de acetileno.
- 3.1.7.3. Métodos o técnicas isotópicas, las que se basan en el uso de  $^{15}N$  para cuantificar la fijación de Nitrógeno en el campo y en invernadero.

### 3.1.8. EMPLEO DE ISOTOPOS DE NITROGENO EN LA CUANTIFICACION DE LA FIJACION DE NITROGENO:

Hardarson (15) indica que el Nitrógeno tiene seis isótopos, cuya masa atómica varía de 12 a 17. De estos, el  $^{14}N$  y el  $^{15}N$  son isótopos estables, mientras que el resto son radiactivos. Gas marcado con  $^{15}N_2$ , así como fertilizantes orgánicos ó inorgánicos empobrecidos o enriquecidos con  $^{15}N$  se ha

utilizado ampliamente para cuantificar el Nitrógeno fijado.

El mismo autor afirma que la utilización de  $^{15}\text{N}$  como trazador se basa en la presencia en la naturaleza de  $^{14}\text{N}$  y  $^{15}\text{N}$  en una relación casi constante de  $272 \pm 0.3$  a 1, lo que arroja un  $0.3663 \pm 0.0004$  % de átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$ . La cantidad de  $^{15}\text{N}$  contenida en una muestra se expresa adecuadamente como porcentaje de átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$  (%  $^{15}\text{N}$  a.e.) con respecto a la abundancia natural de 0.3663 de Nitrógeno atmosférico. En los estudios de trazadores isotópicos de N, al sistema que se investiga se le suministran materiales con proporciones de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  apreciablemente diferentes de la abundancia natural de  $^{15}\text{N}$ . Así mismo, al tomar una muestra del sistema que se investiga es indispensable que la relación de isótopos de Nitrógeno sea también marcadamente diferente a la abundancia natural de  $^{15}\text{N}$ . Por ejemplo, en el caso de las plantas, la absorción del fertilizante enriquecido con  $^{15}\text{N}$  que se añade al suelo arrojará una relación  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  superior al 0.3663% dentro de la planta. El aumento en la relación de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  en la planta con respecto a la de la abundancia natural es un reflejo del grado de absorción de fertilizante marcado con  $^{15}\text{N}$ , mientras que la disminución del % de átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$  del Nitrógeno del fertilizante que contiene la planta es un indicio de la magnitud en que la planta absorbió el Nitrógeno de las fuentes disponibles de Nitrógeno no marcado. Los isótopos de Nitrógeno pueden utilizarse en la forma gaseosa de  $\text{N}_2$  ó como sustratos marcados en forma sólida ó líquida.

De igual manera explica que el método de dilución isotópica implica el crecimiento de plantas de referencia no fijadoras (NF) y fijadoras (F) de Nitrógeno atmosférico en suelos a los que se les ha aplicado fertilizantes enriquecidos con  $^{15}\text{N}$ . Mencionan además, que el método se basa en la dilución diferencial de fertilizante marcado con  $^{15}\text{N}$  en la planta mediante el Nitrógeno del suelo y el Nitrógeno fijado, lo cual constituye un medición integrada de la cantidad de Nitrógeno fijado que acumula un cultivo durante la época de crecimiento.

En lo que respecta al cultivo de referencia o no fijador Zapata (25), indica que la determinación cuantitativa de la fijación depende en gran medida de dicho cultivo. Y para tal efecto menciona las siguientes consideración general que el cultivo de referencia sea lo mas similar posible a la leguminosa de interés, con excepción del proceso de fijación.

A continuación se dá una lista elaborada por Zapata (25), en la cual se presentan las características que pueden utilizarse como criterio en la selección del cultivo control:

- 3.1.8.1. Periodo de crecimiento: bajo condiciones ideales ambos cultivos (leguminosa y control), deben poseer igual período de crecimiento, pero en ningún caso el control debe ser más corto que la leguminosa.
- 3.1.8.2. Patrón de distribución radicular.
- 3.1.8.3. Cantidad total de Nitrógeno absorbido.
- 3.1.8.4. Patrón de absorción de Nitrógeno.
- 3.1.8.5. Adaptación climática.
- 3.1.8.6. Altura de la planta.

Aunque hace la anotación que el cultivo control seleccionado normalmente no presentará todas las características arriba mencionadas.

Hardarson y Danso (15), indican que para estimar el  $N_2$  fijado en las leguminosas de grano, se han utilizado con éxito los cultivos de referencia (no fijadores) siguientes:

- A. Una planta no leguminosa que no fija Nitrógeno.
- B. Una planta leguminosa que no nodula.
- C. Una planta leguminosa no inoculada en suelos desprovistos de las cepas adecuadas de

Rhizobium.

Por su parte Zapata (25), menciona los siguientes:

- A. Una leguminosa resistente a la nodulación por el Rhizobium que nodula fácilmente la especie fijadora.
- B. Una leguminosa que nodula con una cepa ineficiente de Rhizobium.
- C. Una leguminosa fertilizada con altas dosis de Nitrógeno para reducir por completo la fijación.

Hardarson y Danso (15), indican que para poder efectuar la detección del  $^{15}\text{N}$ , es suficiente aplicar una cantidad de 0.10 gr. de  $^{15}\text{N}/\text{m}^2$ , es decir, 20 Kg de N/Ha de 5% de átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$  ó 100 Kg de N/Ha de 1% de átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$ . Los fertilizantes como urea, nitrato de amonio o sulfato de amonio pueden aplicarse en forma sólida o líquida (fertilizante disuelto por lo menos en 500 ml. de agua/ $\text{m}^2$ ).

### 3.1.9. INVESTIGACIONES DE FIJACION BIOLÓGICA DE NITRÓGENO UTILIZANDO LA TÉCNICA DEL $^{15}\text{N}$ :

Bliss (3) menciona que Tsai y colaboradores llevaron a cabo un experimento para determinar la variabilidad en la fijación de Nitrógeno del frijol (Phaseolus vulgaris L.), asociado con maíz, en Brasil. En dicho experimento evaluaron tres diferentes niveles de fertilización nitrogenada, siendo los siguientes: 0, 30 y 60 Kg de Nitrógeno/Hectárea, las cuales fueron aplicadas en dos fertilizaciones, la primera al momento de la siembra y la segunda antes de la floración. Ellos encontraron que aún con bajos niveles de fertilización nitrogenada (15 Kg de N/Ha), se reduce el número y peso de los nódulos, así como la fijación de  $\text{N}_2$ . De igual manera comprobaron que a la edad de 26 días después de la



emergencia (DDE), la cantidad y masa de los nódulos es mayor en comparación con las encontradas a los 47 DDE, en donde la mayoría de los nódulos están senescentes, indicando que las plantas de frijol estuvieron bajo stress posiblemente debido a la sombra producida por las plantas de maíz y/o una enfermedad virótica en algunas de las plantas de frijol. Mencionan además que en el caso particular del asocio maíz frijol, grandes cantidades de fertilizante nitrogenado aplicado al maíz puede inhibir la emergencia de nuevos nódulos en las raíces laterales, las cuales se ha demostrado son lugares importantes para la fijación biológica de Nitrógeno en leguminosas de grano.

Los mismos autores afirman que el comportamiento de algunos cultivares en la asociación maíz-frijol fué superior comparado con el sistema en monocultivo, especialmente cuando el frijol fué introducido después de cosechar el maíz. Además, los cultivares evaluados en el experimento mostraron una correlación negativa entre la actividad simbiótica y rendimiento de grano cuando se asoció con maíz. Un aspecto a tomar en cuenta es que en trabajos de selección para rendimiento de grano, grandes diferencias genotípicas pueden ser detectadas bajo condiciones de competencia como lo es el asocio, que cuando se siembra el frijol en monocultivo.

Graham y Harris (11), llevaron a cabo un ensayo evaluando la asociación maíz-frijol y su efecto en la fijación biológica de Nitrógeno, en el cual encontraron un cultivar de hábito de crecimiento indeterminado, cuya capacidad de fijación biológica no fué afectada por la asociación. Mencionan además, que tanto el desarrollo del maíz como el del frijol fué afectado por la asociación, aunque los efectos de la competencia aparentemente no ocurrieron durante el período activo de fijación de Nitrógeno.

En un estudio posterior el mismo autor encontró que la fijación de Nitrógeno de un cultivar de frijol de hábito de crecimiento determinado fué severamente reducido por la asociación, apesar de que el desarrollo de nódulos previos a la floración fué mayor.

Danso et al (7), realizaron una investigación para determinar cómo era afectada la fijación

biológica de Nitrógeno en Haba (Vicia faba var. minor L.), cuando es sembrada a diferentes densidades, en monocultivo y asociada con cebada (Hordeum vulgare L.). En dicho estudio encontraron que el rendimiento de materia seca y el Nitrógeno total en el sistema de asocio se redujo comparado con el monocultivo, por lo cual se obtuvo también una reducción en la cantidad de Nitrógeno fijado cuando se tuvo la presencia de la cebada. Sin embargo, la proporción del Nitrógeno del haba que se derivó de la fijación aumentó significativamente en el sistema de asocio. Aunque en monocultivo el haba absorbió más Nitrógeno del suelo que sólo la cebada, esto ocurrió al contrario en el sistema asociado. El aumento en la competencia por el Nitrógeno del suelo por el incremento en la densidad de plantas comparado con el haba en monocultivo o la cebada en asociación resultó en un incremento substancial en la proporción de Nitrógeno derivado de la fijación en el haba. El efecto de la densidad fué mucho mayor cuando estaba asociado con cebada que cuando se aumentó la densidad de plantas de haba.

Rodas (21), evaluó el potencial de fijación de Nitrógeno por el método del  $^{15}\text{N}$  de un total de 20 líneas preseleccionadas de frijol, de las cuales sobresalieron tres materiales, los cuales en su orden fueron los identificados como: línea 177, línea 18 y línea 77. Acerca de esta última, indica que fué incluido como un testigo regional, el cual es denominado "Rabia de Gato", procedente de la región sur-oriental de Guatemala, ampliamente cultivado por los agricultores de la región por adaptarse perfectamente a las condiciones ambientales, aunque presenta problemas por susceptibilidad a enfermedades. Sin embargo, puede ser también susceptible a la infección por cepas nativas de *Rhizobium*.

Recientemente Castellanos (5), condujo una investigación sobre la fijación biológica de Nitrógeno con la técnica del  $^{15}\text{N}$  en 15 cultivares de frijol negro provenientes del ensayo centroamericano de adaptación y rendimiento. En el ensayo el cultivar JU-937 se mostró como el mayor fijador de Nitrógeno, y dentro de los cultivares que el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola

ha venido trabajando desde hace algunos años y en espera de ser liberado completamente al mercado, el cultivar Santa Gertrudis se mostró como el mejor.

Alfaro (1), condujo una investigación a nivel de laboratorio con el propósito de determinar el número adecuado de plantas de frijol que se deben muestrear para obtener resultados estadísticamente confiables, que puedan ser utilizados en estudios relacionados con el uso de  $^{15}\text{N}$  en sistemas fijadores de Nitrógeno. En ese estudio, concluyó que con un mínimo de 6 plantas de frijol muestreadas, se obtienen datos confiables que pueden ser utilizados en investigaciones de este tipo.

### 3.1.10. Ventajas y desventajas en la utilización del diseño estadístico de bloques al azar sencillo y con arreglo en parcelas divididas:

De acuerdo a Loma (17), el arreglo en parcelas divididas requiere un menor número de observaciones que las que se necesitan si se evaluaran los factores independientemente, además dan una información más completa de cada factor estudiado, pues no sólo comprueban los efectos aislados de cada uno, sino las interacciones o influencias mutuas entre ellos, de tal manera también las conclusiones pueden tener mayor valor, desde un punto de vista práctico, pues las distintas variantes de cada factor se experimentan en presencia de las variantes relativas a los demás factores. Además, la precisión en el análisis de los resultados es mayor, porque todas las parcelas intervienen en los efectos de cada factor, por lo que el análisis estadístico resulta más preciso. Sin embargo, la utilización de un diseño en bloques al azar simple comparado con uno con arreglo en parcelas divididas conlleva serios inconvenientes, ya que su planteamiento es más difícil, los resultados son de interpretación más dudosa y las causas de error en la ejecución de los trabajos y en la propia estimación de los resultados, son más numerosas. A pesar de esto y a la vista de las ventajas antes señaladas, se

recomienda la utilización del arreglo en parcelas divididas, sobre todo cuando exista una limitación de terreno o de medios económicos para llevar a efecto el ensayo de los diferentes factores por separado.

### 3.2. MARCO REFERENCIAL:

#### 3.2.1. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS CULTIVOS:

De acuerdo a Gudiel (14), los requerimientos nutricionales de los elementos primarios para los cultivos a trabajar son los siguientes:

##### 3.2.1.1. Frijol:

- A. Nitrógeno: 97.43 Kg/Ha.
- B. Fósforo: 38.97 Kg/Ha.
- C. Potasio: 90.91 Kg/Ha.

##### 3.2.1.2. Maíz:

- A. Nitrógeno: 181.83 Kg/Ha.
- B. Fósforo: 68.19 Kg/Ha.
- C. Potasio: 194.80 Kg/Ha.

##### 3.2.1.3. Sorgo:

- A. Nitrógeno: 181.83 Kg/Ha.
- B. Fósforo: 68.19 Kg/Ha.
- C. Potasio: 194.80 Kg/Ha.

### 3.2.1.4. Mijo, según Sánchez (22):

- A. Nitrógeno: 100 Kg/Ha.
- B. Fósforo: 55 Kg/Ha.
- C. Potasio: 40 Kg/Ha.

### 3.2.2. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES EXPERIMENTALES:

#### 3.2.2.1. Cultivares de Frijol:

##### A. JU-937:

Este cultivar posee un color de grano negro, vainas color crema. Su hábito de crecimiento es indeterminado arbustivo, con una altura aproximada de 60 a 70 centímetros. Presenta un rendimiento promedio de 1235 Kg/Ha, alcanza la madurez fisiológica a los 66 días después de la siembra, las anteriores características fueron evaluadas en los Ensayos centroamericanos de adaptación y rendimiento (ECAR), del programa de frijol del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola en el Departamento de Juliapa. El cultivar JU-937 proviene de la cruce entre los cultivares (ICTA-Ostúa) \* (C 332-1), creado por el programa de frijol ICTA-Guatemala (19).

##### B. ICTA-Santa Gertrudis:

Este cultivar posee un color de grano negro, su hábito de crecimiento es indeterminado arbustivo, altura de planta entre 50 y 60 cm. Color de la flor morada, color de la vaina crema, florea entre los 35 a 37 días después de la siembra, la longitud de sus vainas es de 9 cm. es medianamente resistente al Mosaico Dorado, su rendimiento alcanza los 1948 Kg/Ha, se adapta entre los 50 a 1200 m.s.n.m. (13). Este cultivar es producto de la cruce entre las líneas (DOR 364 \* G 18521) \* (DOR 365 \* LM 30630), y proviene del Programa ICTA-GUATEMALA (19).

**C. ICTA-OSTUA:**

Cultivar con color de grano negro opaco, su hábito de crecimiento es indeterminado arbustivo, altura de planta entre 60 y 70 cm., color de la flor morada, color de vaina crema, su floración inicia entre los 34 y 37 días después de la siembra, la longitud de sus vainas es de 9 cm., es tolerante al Mosaico Dorado, su rendimiento alcanza los 1948 Kg/Ha. Se adapta entre los 100 a 1200 m.s.n.m. Su cosecha se realiza entre los 75 a 80 días después de la siembra (12).

**D. RABIA DE GATO:**

Es un cultivar criollo, precoz, no es resistente al Mosaico Dorado, florea aproximadamente a los 32 días después de la siembra. Su madurez fisiológica ocurre a los 56 días, el color de la semilla es negro y su brillo opaco, su hábito de crecimiento es de arquitectura erecta y su rendimiento es de 1014 Kg/Ha (19).

**3.2.2.2. Cultivo de referencia:**

El presente ensayo contó con dos cultivos de referencia, los cuales fueron sorgo de grano (Sorghum vulgare) de la variedad ICTA-Millán, y Mijo (Pennisetum glaucum).

**A. ICTA-Millán:**

Es una variedad apta para consumo humano, por su bajo contenido de taninos, lo cual hace que el grano no tenga un sabor amargo. Su grano es de color crema. Florece a los 67 días y se cosecha entre los 110 y 120 días después de la siembra. La altura de planta es de 1.20 a 1.40 metros y tiene un rendimiento promedio de 5195 Kg. de grano por hectárea (12).

## B. MIJO (Pennisetum glaucum).

De acuerdo a Sánchez (22), esta especie es conocida como mijo perla y es muy importante en países con regiones áridas o semi-áridas, en donde el grano se utiliza principalmente para consumo humano, cocinado como arroz, molido para hacer pan ó para hacer cerveza. En países más desarrollados es usado como pasto.

Es una gramínea con tallos de 1 a 2 metros, provisto de 3 a 8 espiguillas cilíndricas y compactas, grano redondo. Las hojas y tallos son pubescentes. Su sistema radicular es amplio y fibroso por lo que tienen gran habilidad de aprovechamiento del agua del suelo. Dependiendo de la variedad el tiempo de madurez fisiológica oscila entre 2 y 7 meses, necesitando una temperatura óptima de 27 a 35 °C. Los brotes aparecen de 2 a 4 días después de la siembra, el macollamiento inicia pasadas 2 semanas después de la aparición de los brotes y se prolonga hasta que las plantas alcanzan la edad de 2 meses. El rendimiento del mijo perla es de 40 Ton/ha de materia seca.

### 3.2.2.3. Híbrido de Maíz:

El híbrido de maíz utilizado fué el HB-83, el cual es de amplio uso en la región de Jutiapa. Posee grano de color blanco, se puede cosechar a los 120 días después de la siembra. La altura de planta es de 1.50 metros, presentando una caña gruesa y buen desarrollo radicular, resistente a vientos fuertes. Tiene un rendimiento entre 3895 y 4545 Kg/Ha (12).

### 3.2.3. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL:

#### 3.2.3.1. Ubicación Geográfica:

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro de Producción de Oriente del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (I.C.T.A.), localizado en el kilómetro 118 de la carretera que de la Ciudad de Guatemala conduce a San Cristobal Frontera, en la aldea Río de la Virgen, Municipio y Departamento de Jutiapa. Sus coordenadas geográficas son 14°18'25" Latitud Norte y 89°53'50" Longitud Oeste.

#### 3.2.3.2. Condiciones climáticas:

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge modificado por Cruz (6), la región donde se ubica el área experimental corresponde a la zona ecológica de Bosque Sub-Tropical Seco. La altitud es de 906 metros sobre el nivel del mar. Posee una precipitación media anual de 995 mm. La humedad relativa media es del 70 % y la temperatura media anual es de 24 °C.

#### 3.2.3.3. Condiciones edáficas:

Según la clasificación de Simmons (23), los suelos del centro de Producción de Oriente del I.C.T.A., corresponden a la serie CULMA, los cuales se caracterizan por ser moderadamente profundos, bien drenados, desarrollados sobre Lahar máfico en un clima seco y poseen relieves ondulados e inclinados. El suelo a una profundidad de 20 centímetros es franco-arcilloso, friable, de color café oscuro, contiene piedras felsíticas negras en la superficie y en el sub-suelo. La estructura es granular y su reacción va de ácida a neutra, con un pH alrededor de 6.0.



El área en donde se ubicó el ensayo según el análisis de suelo realizado en el laboratorio de suelos del I.C.T.A. (ver apéndice) presenta las siguientes características:

- Arcilla: 33.86 %
- Limo: 17.14 %
- Arena: 49.00 %
- Materia Orgánica: 2.18 %
- Capacidad de Intercambio Catiónico: 34.85 meq./100 cc.
- Saturación de Bases: 66.46 %
- pH : 5.30
- Tipo de suelo: **FRANCO ARCILLO-ARENOSO.**

#### 4. OBJETIVO

Cuantificar el Nitrógeno procedente de la fijación simbiótica de *Rhizobium* en cuatro cultivares de frijol sembradas en monocultivo y en asocio con maíz.

#### 5. HIPOTESIS

Los cultivares de frijol presentarán diferencias estadísticas en la cantidad de Nitrógeno procedente de la fijación biológica de Nitrógeno atmosférico.

Los cultivares de frijol sembrados en asocio con maíz presentarán diferencias estadísticas a los sembrados en monocultivo en la cantidad de Nitrógeno procedente de la fijación biológica de Nitrógeno atmosférico.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. MATERIAL Y EQUIPO:

#### 6.1.1. Material:

- Semilla de frijol:  
Cultivar A: JU-937.  
Cultivar B: ICTA-Santa Gertrudis.  
Cultivar C: ICTA-Ostúa.  
Cultivar D: Rabia de gato.
- Semilla de sorgo variedad ICTA-Millán.
- Semilla de Mijo (Pennisetum glaucum L.).
- Semilla de maíz variedad HB-83.
- Fertilizante Sulfato de Amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  marcado con 10 % de átomos en exceso (a.e.) de  $^{15}\text{N}_2$ , el cual fué proporcionado por la Dirección General de Energía Nuclear.
- Fertilizante 0-46-0.
- Insecticidas: Tamaron 600 (Metamidophos), Volaton grandulado al 5% (Phoxim), Folidol M-480 (Parathion Metílico).
- Fungicidas: Benlate (Benomyl), Dithane M-45 (Mancozeb), Antracol (Propineb), Cupravit Forte 85 WP (Oxicloruro de cobre).
- Bolsas de papel Kraft.
- Reactivos de laboratorio a utilizar en el análisis de muestras (ver apéndice ii).

### 6.1.2. Equipo:

- Horno con aire circulante.
- Balanza monoplato, rango 0.1 a 500 gr.
- Balanza analítica.
- Molino.
- Tamíz de 1 mm. ó 40 mesh.
- Equipo Kjeldahl.
- Espectrómetro de emisión.
- Vehículo para transporte de muestras.

## 6.2. METODOS:

### 6.2.1. Diseño Experimental:

En la presente investigación se utilizó un Diseño de Bloques al Azar, con arreglo en parcelas divididas, la razón principal de la utilización de este arreglo estadístico se basó en la limitación de terreno disponible para la realización del experimento. Las parcelas grandes fueron los sistemas de cultivo (asociado con maíz y en monocultivo), mientras que las parcelas pequeñas fueron los cuatro cultivares además de dos cultivos de referencia (cuadro 1). El número de tratamientos evaluados en el experimento fué de ocho con cuatro repeticiones, para un total de 32 unidades experimentales. En cada bloque existieron dos parcelas de cultivos de referencia (sorgo y mijo), que sirvieron de comparadores con el cultivo fijador de Nitrógeno atmosférico (frijol).

Los bloques fueron ubicados en forma perpendicular al gradiente de variabilidad del terreno que en este caso fué la pendiente.

CUADRO 1: TRATAMIENTOS EVALUADOS EN EL EXPERIMENTO

No.	MONOCULTIVO	No.	ASOCIO
1	JU-937	5	Maíz-Ju-937.
2	ICTA-Sta. Gertrudis	6	Maíz-Sta. Gertrudis
3	Rabia de gato	7	Maíz-Rabia de gato
4	ICTA-Ostúa	8	Maíz-Ostúa

Cultivos de referencia:

- A. Sorgo (*Sorghum vulgare* L.)
- B. Mijo (*Pennisetum glaucum*)

#### 6.2.2. Modelo Estadístico:

Se utilizará el siguiente modelo estadístico (16):

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + A_j + R_j + G_k + AG_{jk} + E_{ijk}$$

En donde:

- $Y_{ijk}$  = Variable respuesta de la  $ijk$ -ésima unidad experimental.
- $\mu$  = Efecto de la media general.
- $\beta_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo bloque.
- $A_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo sistema de cultivo.
- $R_j$  = Error experimental asociado a la parcela grande.
- $G_k$  = Efecto de la  $k$ -ésima variedad de frijol.
- $AG_{jk}$  = Efecto debido a la interacción del  $j$ -ésimo sistema de cultivo con las  $k$ -ésimas variedades de frijol.
- $E_{ijk}$  = Error experimental asociado a la parcela pequeña.

### 6.2.3. Unidades Experimentales (U.E.) y Area del Experimento:

La presente investigación constó de dos tipos de unidades experimentales, las primeras fueron las variedades de frijol evaluadas (parcelas pequeñas), y las otras fueron la siembra de frijol en monocultivo ó en asocio con maíz (parcelas grandes).

#### 6.2.3.1. Parcela en monocultivo (Frijol):

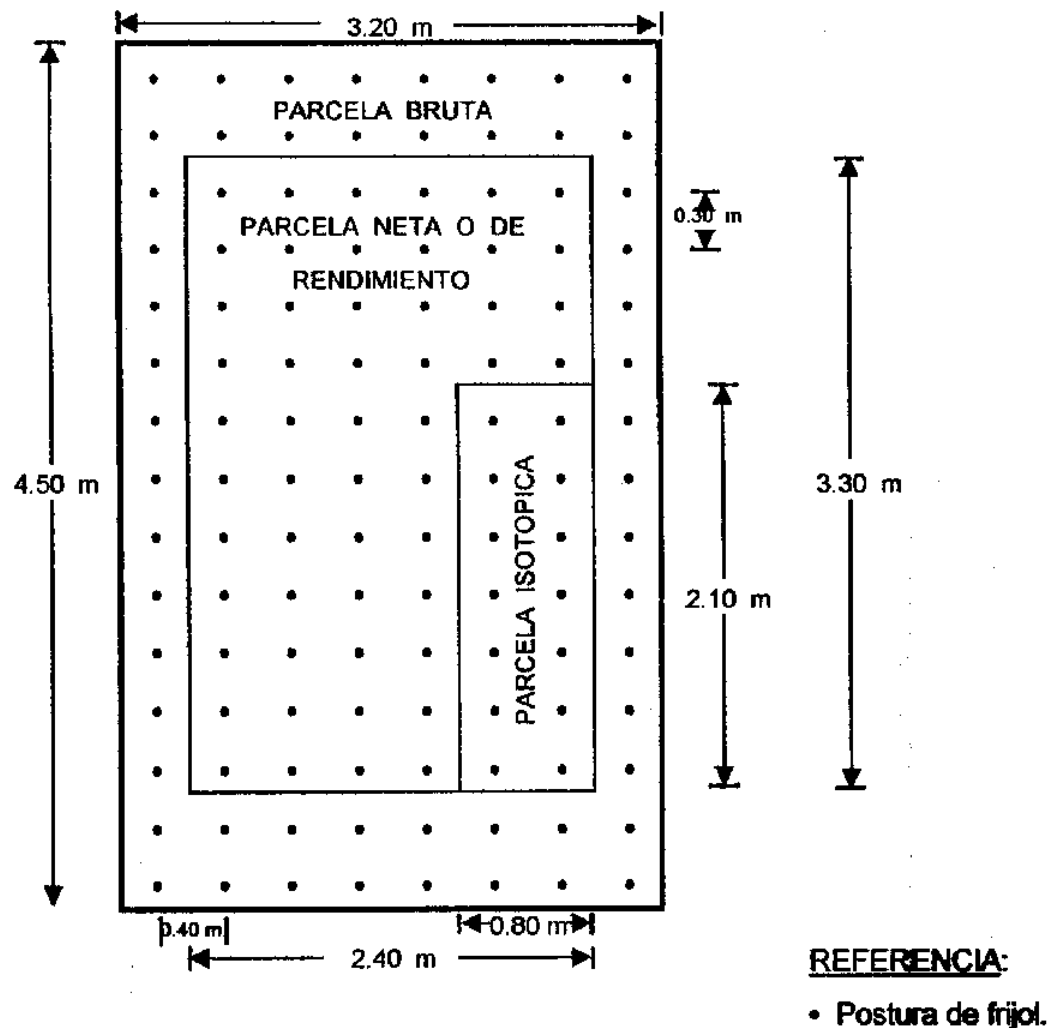
La figura 1 muestra una parcela de monocultivo la cual consistió de 8 hileras de 4.50 metros de largo, con una distancia de 0.40 metros entre hileras, la distancia entre posturas fué de 0.30 m., colocando tres semillas por postura, con esto se tuvieron 15 posturas por hilera y un total de 120 posturas, ocupando un área bruta 14.40 m<sup>2</sup> por cada unidad experimental. La calles entre unidades experimentales tenían 1.00 m. de ancho. La parcela neta consistió de seis hileras (las centrales), cada una de las cuales tuvo un total de 13 posturas, ya que se eliminaron en ambos extremos de la parcela dos posturas, esto para eliminar el efecto de borde en el experimento, la parcela neta tuvo un total de 66 posturas y un área de 9.36 m<sup>2</sup>.

#### 6.2.3.2. Parcela Isotópica:

Debido al elevado costo del fertilizante marcado con <sup>15</sup>N, en cada unidad experimental únicamente se aplicó a una sección, a la cual se le denominó parcela isotópica. Al resto de la parcela, se le denominó parcela de rendimiento (figura 1). La finalidad de la parcela isotópica fué determinar la cantidad de <sup>15</sup>N que las plantas de frijol presentaban, lo cual a la vez es el indicador de la cantidad de Nitrógeno presente en la planta que proviene del fertilizante y cuyo valor es utilizado en el

procedimiento para calcular la cantidad de Nitrógeno proveniente de la fijación biológica. La determinación de la cantidad de  $^{15}\text{N}$  que las plantas presentaban en la parte aérea en la raíz se realizó a través del método Kjeldahl-Oxidación-Rittenberg y utilizando un espectrómetro de emisión.

La parcela isotópica constó de 14 posturas distribuidas en dos surcos contiguos (siete en cada uno), con un área bruta de  $1.68 \text{ m}^2$ , se eliminaron las posturas de los extremos, por lo que se tuvieron 10 posturas netas con un área neta por parcela isotópica de  $1.20 \text{ m}^2$ .



**FIGURA 1: UNIDAD EXPERIMENTAL EN MONOCULTIVO.**

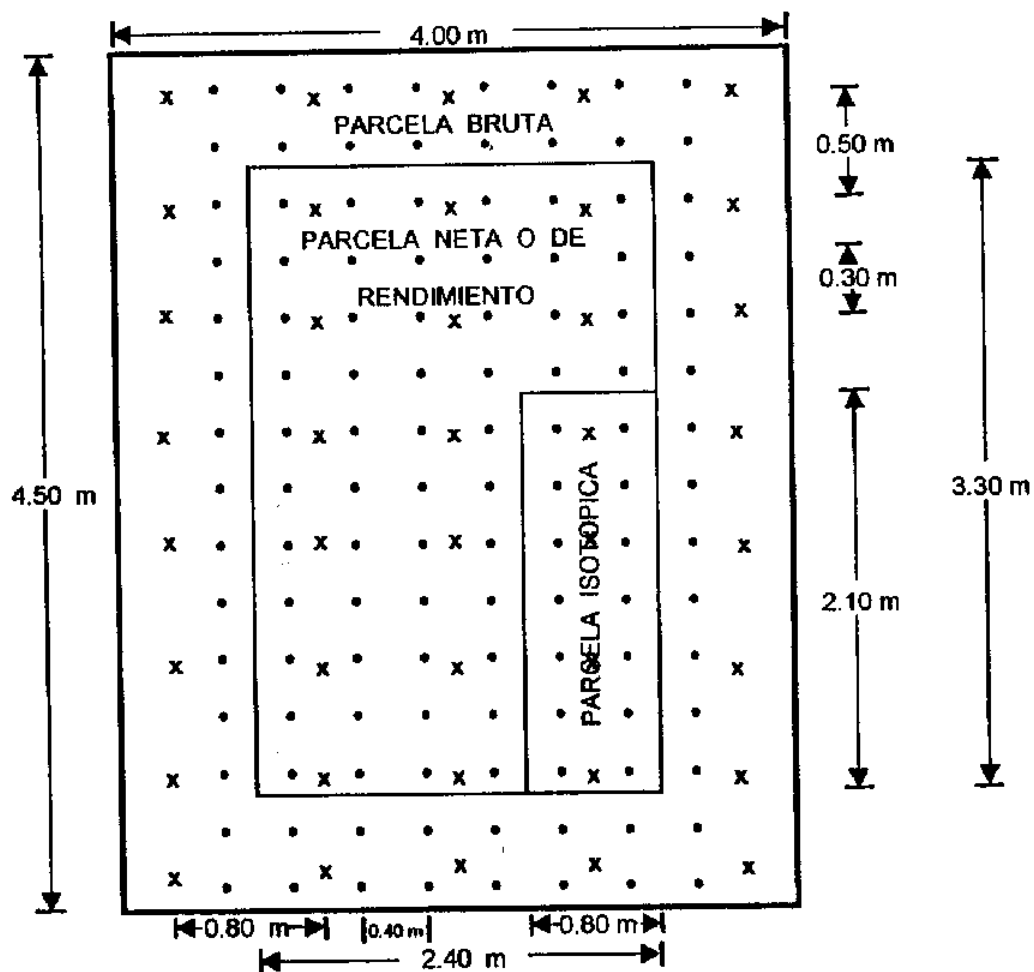
### 6.2.3.3. Parcela en asocio (Maíz – Frijol):

En las parcelas con sistema de cultivo asociado de maíz y frijol como se observa en la figura 2, el maíz tuvo una distancia entre hileras de 0.80 m. y entre posturas de 0.50 m. La longitud de las hileras fué de 4.50 m., existiendo 5 surcos de maíz en cada parcela. De esta forma cada hilera tuvo 9 posturas de maíz, con un total en la unidad experimental de 45 posturas. El frijol se sembró en dos hileras colocadas a los lados de las hileras de maíz, y a una distancia entre ellas de 0.40 m. De esta forma se contó con 8 hileras de frijol en cada parcela, las cuales tuvieron un arreglo igual a las sembradas en monocultivo. El área bruta de las unidades experimentales fué de 18.00 m<sup>2</sup>. Para eliminar el efecto de borde en cada unidad experimental durante los muestreos no se tomaron en cuenta los dos surcos laterales de maíz y frijol, y la primera postura de maíz y dos de frijol, quedando un total de 21 posturas de maíz, y 66 posturas de frijol para tomar datos. El área neta de cada unidad experimental fué de 8.40 m<sup>2</sup>.

La parcela isotópica en las unidades experimentales en asocio tuvo exactamente las mismas dimensiones que las que se establecieron para las unidades experimentales en monocultivo (0.80 m. x 2.10 m). Con la única diferencia que en el centro se encontraba un surco de maíz compuesto por cuatro posturas (figura 2).

El área bruta total del experimento fué de 651.60 m<sup>2</sup>., esta área incluye las calles entre las parcelas (figura 4A).





**REFERENCIAS:**

- Postura de frijol.
- x Postura de maíz.

**FIGURA 2: UNIDAD EXPERIMENTAL ASOCIO MAIZ-FRIJOL.**

#### 6.2.4. Variables Respuesta:

Las variables respuesta que se consideraron en la presente investigación son:

##### 6.2.4.1. De la parcela de rendimiento:

- A. Materia seca en cada corte (parte aérea y raíces) en Kg/Ha.
- B. Nitrógeno total (Kg/Ha).
- C. Número de nódulos.
- D. Peso seco de nódulos.
- E. Rendimiento (Kg/Ha) en grano de frijol.
- F. Rendimiento (Kg/Ha) en grano de maíz.

##### 6.2.4.2. De la parcela isotópica:

- A. Materia seca parte aérea y raíces del último muestreo.
- B. Nitrógeno total.
- C. Número de nódulos.
- D. Peso seco de nódulos.
- E. Nitrógeno derivado del aire o de la fijación biológica (N<sub>dda</sub>) en Kg/Ha., y en porcentaje.

#### 6.2.5. Manejo del Experimento:

##### 6.2.5.1. Fase de Campo cultivos frijol y maíz:

###### A. Preparación del terreno:

Esta actividad se llevó a cabo en forma mecanizada, y consistió de un paso de arado sobre el terreno a sembrar y posterior a ello se hicieron dos pasos de rastra en forma cruzada, para que el terreno se encontrara en condiciones óptimas en el momento de la siembra.

**B. Siembra:**

La siembra se realizó en forma manual, colocando tres semilla por postura, tanto para maíz, como para frijol.

**C. Programa de Fertilización:**

La fertilización del maíz consistió en la aplicación de una cantidad de 1.80 gr. de  $P_2O_5$  por postura que es equivalente a 45 Kg de  $P_2O_5$ /Ha y al frijol se le aplicaron 0.30 gr. de  $P_2O_5$  que es equivalente a 25 Kg de  $P_2O_5$ /Ha, para lo cual se utilizó el fertilizante comercial Triple Superfosfato, esta fertilización se llevó a cabo al momento de la siembra.

El Nitrógeno marcado se aplicó unicamente en la parcela isotópica utilizando como compuesto base Sulfato de Amonio  $(NH_4)_2SO_4$  enriquecido con 10 % de  $^{15}N$  átomos en exceso, disuelto en agua (94.32 gr.  $(NH_4)_2SO_4$  / 20 Lts. agua), a razón de 400 cc/m. lineal, que es equivalente a 23.58 Kg de Sulfato de amonio/Ha, de los cuales 10 Kg/Ha son de Nitrógeno y 1 Kg/Ha de  $^{15}N$ . La aplicación se realizó a los 7 días después de la siembra.

**D. Cuidados culturales:**

Se realizó la primera limpia a los 20 días después de la siembra, y una segunda limpia a los 25 días después de la primera, durante esta segunda limpia se llevó a cabo el aporque o calza para obtener un mayor sostén de las plantas durante la fase final del cultivo que es cuando necesitan el mayor anclaje para evitar que el viento debido a su peso la acame fácilmente.

**E. Control Fitosanitario:**

Para el control de plagas del suelo se realizó la aplicación al momento de la siembra de Volatón granulado al 5 % en dosis de 105 Kg/Ha (i.a. Phoxim 5.25 Kg/Ha). Además, se realizaron aplicaciones

periódicas (cada 10 días), con los insecticidas Tamaron 600 SL a razón de 2 cc/lit de agua (i.a. Metamidiphos 1.2 gr/lit de agua), y Folidol M-480 EC en dosis de 2 cc/lit de agua (i.a. Parathion Metílico 0.96 gr/lit de agua).

En cuanto al control de enfermedades se aplicaron fungicidas como Dithane M-45 a razón de 3.5 gr/lit de agua (i.a. Mancozeb 2.8 gr/lit de agua). Benlate a razón de 1.25 gr/lit de agua (i.a. Benomyl 0.625 gr/lit de agua), Antracol (i.a. Propineb 2.8 gr/lit de agua) y Cupravit Forte 85 WP (i.a. oxiclورو de cobre 3.4 gr/lit de agua), ambos en dosis de 4 gr/lit de agua. Estas aplicaciones se realizaron en forma preventiva especialmente.

#### 6.2.5.2. Fase de campo cultivos de referencia:

Los cultivos de referencia recibieron un manejo agronómico similar al empleado con los cultivos de maíz y frijol. La preparación del terreno de toda el área experimental fué la misma. Tanto para el sorgo como para el mijo se utilizó una distancia entre hileras de 0.40 m. y entre posturas de 0.30 m. En cada postura del cultivo de sorgo se colocaron entre 5 y 8 semillas, mientras que en el caso del mijo se colocó un promedio de 10 semillas por postura; la siembra se realizó en la misma fecha que se sembraron el maíz y frijol.

Al momento de la siembra se realizó la fertilización fosfatada, a razón de 45 Kg de  $P_2O_5$ /Ha., utilizando el fertilizante comercial Triple superfosfato. Dentro de cada parcela de referencia se delimitó una parcela isotópica, la cual constó de dos hileras contiguas de siete posturas cada una, para un total de 14 posturas por parcela; al momento de la cosecha se tomaron las 10 posturas centrales. La parcela isotópica recibió la misma fertilización nitrogenada aplicada en las otras unidades experimentales con fertilizante sulfato de amonio enriquecida con 10 % de  $^{15}N$  átomos en exceso, a razón de 10 Kg de N/Ha.

Se llevaron a cabo dos limpiezas manuales dentro de la fase del cultivo, la primera se realizó a los 20 días después de la siembra, y la segunda, en la cual además se efectuó el aporque a las plantas a los 45 días después de la siembra.

#### 6.2.5.3. Toma de Muestras:

Se llevaron a cabo tres muestreos de nódulos y parte aérea de las plantas de frijol; éstos se realizaron a los 15, 30 y 45 días después de la siembra. Tomando como base los resultados obtenidos por Alfaro (1), en cada muestreo se consideraron las plantas procedentes de dos posturas de frijol (6 plantas), de la parcela de rendimiento. La parte aérea de las plantas fué separada de su sistema radicular y cada parte de las plantas se colocó dentro de bolsas de papel kraft previamente identificadas

A los 57 días después de la siembra (momento en que las plantas presentaban la formación completa de vainas), se realizó la cosecha de la parcela isotópica, en la cual se extrajeron 10 posturas en cada una, dejando dos posturas de borde en cada extremo. En este muestreo también se cosecharon las parcelas isotópicas de los dos cultivos de referencia, para lo cual también se tomaron 10 posturas por parcela, dejando sin cosechar las posturas de ambos extremos. Los tallos fueron cortados con una tijera de podar a una altura aproximada de 2 cm. del nivel del suelo. A nivel de campo para cada parcela se determinó el peso fresco de los tallos de las 10 posturas. Estos fueron cortados en trozos de aproximadamente 2 cm. y mezclados perfectamente, para luego sacar una muestra, a la que igualmente se le determinó el peso fresco, esta muestra se trasladó para su análisis de laboratorio.

#### 6.2.5.4. Manejo de muestras en el laboratorio:

Las muestras de la parte aérea y raíz de las plantas de frijol, y la parte aérea de los cultivos de referencia eran lavadas y secadas al aire, se contaba el número de nódulos, los pesos secos (parte aérea, raíces y nódulos), se tomaron después de secar las mismas en un horno de aire circulante durante 72 horas a una temperatura de 70 °C, para determinar la materia seca (Kg/ha) en cada corte.

La parte aérea era cortada en trozos de aproximadamente 3 a 5 mm. de largo y luego pulverizados en un molino, la muestra obtenida fué utilizada para determinar el Nitrógeno total de cada muestra a través del método Kjeldahl.

A la muestra de la parcela isotópica se le determinó el peso fresco total, a ésta se le tomó una submuestra de peso conocido y luego se secó en un horno de aire circulante siguiendo posteriormente el mismo proceso que las plantas obtenidas en los primeros muestreos, con excepción que el final de la misma además del nitrógeno total, se determinó por medio del método Kjeldahl-Oxidación-Rittenberg y haciendo uso de un espectrómetro de emisión la cantidad de  $^{15}\text{N}$  que las mismas contenían, tanto en la parte aérea como en la raíz.

Las muestras provenientes de las parcelas isotópicas de los dos cultivos de referencia, recibieron el mismo manejo y tipo de análisis de laboratorio que las procedentes de las parcelas isotópicas de frijol.

#### 6.2.6. Cuantificación de las variables:

##### 6.2.6.1. Valores medidos (en campo y laboratorio):

- A. Rendimiento de materia seca
- B. Porcentaje de nitrógeno total
- C. Porcentaje de átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$  de la muestra.

## 6.2.6.2. Valores calculados:

## A. Rendimiento de nitrógeno (Kg/Ha):

$$\frac{\text{M.S. (Kg/Ha)} * \% \text{ de N total}}{100}$$

## B. Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante (% Nddf):

$$\frac{\% \text{ átomos en exceso de } ^{15}\text{N de la muestra}}{\% \text{ átomos en exceso de } ^{15}\text{N del fertilizante}} * 100$$

## C. Nitrógeno derivado del fertilizante (Kg/Ha):

$$\frac{\text{Rendimiento de N (Kg/Ha)} * \% \text{ Nddf}}{100}$$

## D. Porcentaje de Nitrógeno derivado del aire ó fijado (% Ndda):

$$1 - \frac{\% \text{ Nddf en el cultivo fijador}}{\% \text{ Nddf en el cultivo no fijador}} * 100$$

## E. Nitrógeno derivado del aire ó fijado (Kg/Ha):

$$\frac{\text{Rendimiento de N (Kg/Ha)} * \% \text{ Ndda}}{100}$$

## F. Porcentaje de Nitrógeno derivado del suelo (% Ndds):

$$100 - \% \text{ Nddf} - \% \text{ Ndda}$$

G. Nitrógeno derivado del suelo (Kg/Ha):

$$\frac{\text{Rendimiento de N (Kg/Ha)} * \text{Ndds}}{100}$$

#### 6.2.7. Análisis de la información:

Los datos obtenidos para las diferentes variables fueron analizados estadísticamente de acuerdo al diseño de bloques al azar con parcelas divididas, y para la variables en donde se detectaron diferencias significativas entre tratamientos se procedió a efectuar una prueba múltiple de medias de Duncan.



## 7. RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION

Con el propósito de determinar la capacidad de fijación biológica de Nitrógeno de los cultivares estudiados en asocio y en monocultivo, así como el comportamiento que presentaron las variables de interés en diferentes edades fisiológicas de los cultivares se realizaron análisis de varianza cuyo resumen se encuentra en el cuadro 2. En aquellos análisis en donde se detectaron diferencias significativas, se realizaron pruebas múltiples de medias.

**CUADRO 2: RESUMEN DEL ANALISIS DE VARIANZA DE LOS CULTIVARES OBTENIDO CON LOS DATOS RECABADOS A LOS 15, 30, 45 Y 57 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA.**

VARIABLE	No. DE DIAS AL MUESTREO	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	F calculada	Pr > F
Materia seca de la parte aérea	15	20.78	1.591	0.226 (N.S.)
	30	31.66	1.116	0.369 (N.S.)
	45	34.16	0.823	0.500 (N.S.)
	57	26.04	4.967	0.014 ( * )
Materia seca de raíces	15	22.11	3.548	0.035 ( * )
	30	28.08	3.952	0.025 ( * )
	45	31.85	3.519	0.036 ( * )
	57	22.62	10.384	0.0005 ( ** )
Número de nódulos	15	43.27	3.810	0.028 ( * )
	30	26.35	5.988	0.005 ( ** )
	45 (Interacción)	27.50	3.221	0.047 ( * )
	57	41.82	6.173	0.005 ( ** )
Peso seco de nódulos	15	321.3	0.882	0.529 (N.S.)
	30	60.77	2.648	0.079 (N.S.)
	45	68.83	0.999	0.583 (N.S.)
	57	113.8	2.224	0.120 (N.S.)
Nitrógeno total (Kg/Ha)	15	28.55	1.081	0.383 (N.S.)
	30	28.71	1.147	0.358 (N.S.)
	45	54.16	0.393	0.763 (N.S.)
	57	32.33	3.339	0.042 ( * )
Nitrógeno fijado (%)	57	25.13	18.407	0.0001 ( ** )
Nitrógeno fijado (Kg/Ha)	57	53.29	7.460	0.002 ( ** )
Rendimiento de frijol (Kg/Ha)	57	63.74	1.991	0.151 (N.S.)
Rendimiento de maíz (Kg/Ha)	57	38.64	0.380	0.820 (N.S.)

No.: Número

N.S.: No existen diferencias estadísticamente significativas.

( \* ): Existen diferencias estadísticamente significativas.

( \*\* ): Existen diferencias estadísticas altamente significativas.

### 7.1. PESO DE LA MATERIA SECA DE LA PARTE AEREA:

Se puede observar en el cuadro 2, que la materia seca de la parte aérea durante los tres primeros muestreos no mostró diferencias estadísticas significativas, probablemente debido a la existencia de algún factor limitante que no permitió la máxima expresión genética de las plantas en el crecimiento de cada variedad en la localidad donde se efectuó el estudio. Esta variable presentó diferencias estadísticas entre cultivares en el muestreo realizado a los 57 días después de la siembra, como puede observarse en el cuadro 3, el cultivar Rabia de gato fue inferior a los demás, lo cual se debe a que este cultivar es ligeramente más precóz que los otros tres, por lo que a esa edad la planta ha iniciado la muerte fisiológica. Por otro lado los cultivares Ostúa, Santa Gertrudis y JU-937, son estadísticamente iguales.

**CUADRO 3: RESULTADO DE LA PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS DE DUNCAN PARA PESO SECO DE LA PARTE AEREA ENTRE VARIEDADES A LOS 57 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA.**

CULTIVAR	MEDIA	GRUPO DUNCAN
Icta-Ostúa	2000.166	A
Santa Gertrudis	1857.749	A
JU-937	1710.551	A
Rabia de gato	1221.416	B

## 7.2. PESO DE MATERIA SECA DE RAICES:

La variable materia seca de raíces mostró diferencias estadísticas entre cultivares en los cuatro muestreos realizados, tal como se observa en el cuadro 2, por lo cual se realizaron las pruebas múltiples de medias, cuyos resultados se encuentran en el cuadro 4, los cuatro materiales evaluados tuvieron un comportamiento variable a través del tiempo. Es así que a los 15 días después de la siembra JU-937, Ostúa y Rabia de gato fueron estadísticamente iguales entre sí. Santa Gertrudis aunque estadísticamente no fué diferente a Ostúa y Rabia de gato sí lo fué a JU-937. El rendimiento de raíces fué variando con el tiempo de desarrollo de la planta y se observa que a los 30 días después de la siembra JU-937 se mantiene con la media más alta, y Rabia de gato, que ocupaba un tercer lugar se ubica en un segundo lugar, esto se puede explicar en función del crecimiento fisiológico acelerado que por ser de ciclo corto tiene este cultivar en relación a los otros cultivares.

El mismo fenómeno de madurez fisiológica acelerada de Rabia de gato hace que a los 45 días este cultivar caiga al último lugar mientras las otras variedades siguen formando raíces. En el muestreo a los 57 días después de la siembra se observó que las variedades mejoradas JU-937, Santa Gertrudis y Ostúa fueron iguales estadísticamente aunque en el orden planteado JU-937 fué la de mayor rendimiento radicular. La propiedad genética de producir un alto desarrollo radicular del cultivar JU-937 ya había sido observada por Castellanos (5), quien evaluó este material entre otros 14 cultivares, en los que se encontraban también JU-937 y Santa Gertrudis. En esta evaluación Castellanos (5) encontró que JU-937 ocupó el primer lugar y Santa Gertrudis el lugar número 7, lo cual indica que este cultivar es más lento en su desarrollo radicular.

**CUADRO 4: RESUMEN DE LAS PRUEBAS MULTIPLES DE MEDIAS DE DUNCAN PARA LA VARIABLE PESO SECO DE RAICES (Kg/ha), DE LOS CULTIVARES EN LOS MUESTREOS REALIZADOS A LOS 15, 30, 45 Y 57 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA.**

MUESTREO A LOS 15 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA			MUESTREO A LOS 30 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA			MUESTREO A LOS 45 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA			MUESTREO A LOS 57 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA		
CULTIVAR	MEDIA	GRUPO DUNCAN	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO DUNCAN	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO DUNCAN	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO DUNCAN
JU-937	31.510	A	JU-937	212.592	A	JU-937	314.115	A	JU-937	318.416	A
Ostúa	27.865	A B	R. de gato	164.240	A B	Ostúa	230.189	B	Sta. Gertrudis	287.844	A
R. de gato	27.450	A B	Ostúa	148.896	B	Sta. Gertrudis	225.595	B	Ostúa	280.625	A
Sta. Gertrudis	21.824	B	Sta. Gertrudis	138.519	B	R. de gato	195.256	B	R. de gato	164.199	B

### 7.3. NUMERO DE NODULOS:

En el cuadro 2, se observa que la variable número de nódulos de cultivares presentó diferencias estadísticas en los cuatro muestreos realizados, sin embargo en el tercer muestreo estas diferencias se detectaron en la interacción cultivares-sistema de cultivo, siendo ésta la única oportunidad en que la interacción mostró diferencias. Los resultados de las pruebas múltiples de medias para esta variable se encuentran en los cuadros 5 y 6, allí se observa que el resultado obtenido es similar al observado con la materia seca de raíces, en donde los primeros tres muestreos el cultivar Santa Gertrudis fué el inferior, mientras que en el último muestreo el cultivar Rabia de gato resultó ser inferior a los otros tres. La razón de este comportamiento se puede deber a que Rabia de gato siendo el cultivar más precóz de todos los evaluados, al madurar fisiológicamente no existen nuevas colonizaciones de bacterias y existe destrucción de nódulos por falta de los nutrientes que en la simbiosis la planta cede a las bacterias. El mismo fenómeno pero a la inversa sucede con Santa Gertrudis ya que como un cultivar lento en lo que respecta a la formación de raíces y nódulos pasa de ocupar un último lugar a un segundo lugar a los 57 días de edad. En el cuadro 6 se aprecian tres grupos estadísticos, en base a lo cual se puede decir que no se encontró una relación directa entre el sistema de cultivo y los cultivares en lo que se refiere al número de nódulos a la edad de 45 días, ya que se observa que mientras Ostúa sembrada tanto en asocio con maíz como en monocultivo se encuentra en el grupo superior, Santa Gertrudis, sembrada en las dos modalidades de cultivo se ubica en el grupo inferior; mientras los cultivares JU-937 y Rabia de gato con sus sistemas de cultivo se ubicaron indistintamente en los grupos existentes.

**CUADRO 5: RESUMEN DE LAS PRUEBAS MULTIPLES DE MEDIAS DE DUNCAN PARA LA VARIABLE NUMERO DE NODULOS DE LOS CULTIVARES EN LOS MUESTREOS REALIZADOS A LOS 15, 30, Y 57 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA.**

MUESTREO A LOS 15 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA			MUESTREO A LOS 30 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA			MUESTREO A LOS 57 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA		
CULTIVAR	MEDIA (*)	GRUPO DUNCAN	CULTIVAR	MEDIA (*)	GRUPO DUNCAN	CULTIVAR	MEDIA (*)	GRUPO DUNCAN
Ostúa	44.031	A	JU-937	74.985	A	JU-937	2137.875	A
Rabia de gato	33.889	A B	Ostúa	62.857	A	Sta. Gertrudis	1639.625	A
JU-937	31.119	A B	Rabia de gato	60.343	A	Ostúa	1507.250	A
Sta. Gertrudis	20.508	B	Sta. Gertrudis	41.870	B	Rabia de gato	787.500	B

(\*) : Valores transformados de variables discretas a continuas con la fórmula  $\sqrt{x}$

**CUADRO 6: RESULTADO DE LA PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS DE DUNCAN PARA LA VARIABLE NUMERO DE NODULOS EN LA INTERACCION SISTEMA DE CULTIVO -- CULTIVARES CON LOS DATOS RECABADOS A LOS 45 DIAS. DESPUES DE LA SIEMBRA.**

TRATAMIENTO	MEDIA (*)	GRUPO DUNCAN
Maíz - JU 937	119.095	A
Maíz - ICTA Ostúa	108.445	A B
Rabia de gato	86.338	A B C
ICTA Ostúa	85.043	A B C
Santa Gertrudis	77.225	B C
Maíz - Rabia de gato	75.963	B C
JU-937	72.600	B C
Maíz - Santa Gertrudis	59.840	C

(\*) : Valores transformados de variables discretas a continuas con la fórmula  $\sqrt{x}$

#### 7.4. PESO SECO DE NODULOS:

El análisis de varianza de la variable peso seco de nódulos se encuentra en el cuadro 2, el cual muestra que no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los muestreos realizados, lo cual contrasta con la variable número de nódulos, en el mismo cuadro se aprecia que el peso seco de nódulos presentó los mayores valores en el coeficiente de variación, lo cual se debió a que en algunas muestras se encontraron nódulos poco desarrollados, mientras que en otras de los mismos cultivares pero de diferentes bloques el desarrollo fué mucho mayor, es probable que esta variación se deba a la abundancia o a una distribución no uniforme de las bacterias nativas de *Rhizobium* presentes en el suelo y/o a la heterogeneidad de las cepas presentes así como de su capacidad para colonizar los cuatro diferentes cultivares de frijol evaluados.

#### 7.5. RAICES Y NODULOS, SINTESIS:

Las variables peso seco de raíces y número de nódulos se consideran importantes, ya que con un buen desarrollo de raíces y una buena cantidad de nódulos se favorece la fijación del Nitrógeno atmosférico por las bacterias, aunque se tiene que considerar además del número la funcionalidad y vigor o desarrollo de dichos nódulos. Comparando los cuadros 4, 5 y 6 se observa un comportamiento muy similar en cuanto a los grupos estadísticos formados, en los que Santa Gertrudis en los tres primeros muestreos se encuentra por debajo de los otros cultivares, y para el cuarto muestreo Rabia de gato pasa a ocupar el último lugar, como se verá más adelante estos resultados coinciden en gran medida con los obtenidos con la fijación biológica de Nitrógeno.

## 7.6. NITROGENO TOTAL EN LAS PLANTAS:

El rendimiento de Nitrógeno total durante los tres primeros muestreos no presentó diferencias estadísticas, pero sí lo hizo en el muestreo realizado a los 57 días después de la siembra, como se observa en el cuadro 2. La prueba múltiple de medias para esta variable se encuentra en el cuadro 7 en donde se diferenciaron dos grupos estadísticos, en el primero se encuentran Ostúa, Santa Gertrudis y JU-937, los cuales se consideran iguales; mientras que en el segundo Santa Gertrudis, JU-937 y Rabia de gato son estadísticamente iguales, por lo tanto se puede decir que Ostúa es superior a Rabia de gato. Estos dos cultivares se encuentran perfectamente adaptados a la región, ya que el primero es el más comunmente trabajado en la zona, y Rabia de gato es un material nativo, la diferencia probablemente radica en que a la edad de 57 días después de la siembra Ostúa se encuentra en su nivel máximo de Nitrógeno en su follaje preparándose para la formación de vainas y semillas, mientras que Rabia de gato ya ha iniciado la muerte fisiológica en su follaje. Los cultivares Santa Gertrudis y JU-937 se consideran estadísticamente iguales a Ostúa, también a Rabia de gato.

**CUADRO 7: RESULTADO DE LA PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS DE DUNCAN PARA NITROGENO TOTAL (Kg/Ha) ENTRE VARIEDADES A LOS 57 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA.**

CULTIVAR	MEDIA	GRUPO DUNCAN
Icta-Ostúa	32.596	A
Santa Gertrudis	30.164	A B
JU-937	28.939	A B
Rabia de gato	19.371	B



## 7.7. NITROGENO FIJADO DEL AIRE:

El cuadro 2 muestra que las variables Nitrógeno fijado cuando está expresado en porcentaje (%) y en kilogramos por hectárea (Kg/ha), presenta diferencias altamente significativas, por lo cual se realizó la prueba múltiple de medias, la cual se encuentra en el cuadro 8, en donde se observa que el comportamiento de los cultivares es el mismo en cualquiera de las dos dimensiones, lo cual no necesariamente tiene que ocurrir de esta manera, ya que en el rendimiento de Nitrógeno fijado entra en juego el Nitrógeno total encontrado en cada cultivar. El mismo cuadro muestra que Ostúa a pesar de ser un material adaptado a la zona se considera estadísticamente igual que JU-937 y Santa Gertrudis, y este grupo a la vez superior a Rabia de gato. Este resultado se asemeja a lo determinado por Castellanos (5), quien en un ensayo llevado a cabo en la localidad de Chimaltenango encontró como un material promisorio en cuanto a su capacidad de fijación biológica de Nitrógeno al cultivar JU-937. Por otra parte contrasta con el resultado obtenido por Rodas (21), ya que en su investigación el cultivar Rabia de gato, se comportó como uno de los más promisorios, habiendo fijado hasta un 42% de Nitrógeno de la atmósfera, sin embargo la presente investigación se realizó en la región nativa de este cultivar por lo cual fué afectado por mosaico dorado, factor que seguramente limitó la potencialidad que Rabia de gato tiene para fijar Nitrógeno atmosférico.

El cuadro 4A permite observar los porcentajes reales de fijación de Nitrógeno atmosférico, ya que los mostrados en el cuadro 8 provienen de la transformación de los datos originales a fin de realizar el análisis estadístico. En lo que respecta al Nitrógeno fijado por hectárea los resultados observados en el cuadro 8 muestran rendimientos considerados bajos, sin embargo esto se debe a que la cantidad de Nitrógeno total detectado en general fué bajo, y no así el porcentaje de Nitrógeno fijado, ya estos valores para los cultivares Ostúa, JU-937 y Santa Gertrudis se

encontraron alrededor del 30 %, lo cual ubica como un valor medio en lo que corresponde a frijol, tal y como lo manifiesta Peña Cabriales (20), quien afirma que en el caso del frijol, se ha demostrado a través del uso de técnicas nucleares, que la capacidad fijadora de Nitrógeno atmosférico varía fuertemente entre genotipos, reportándose valores que van desde el 5 hasta el 50 % del contenido de Nitrógeno en la planta como proveniente de la atmósfera.

**CUADRO 8: RESULTADO DE LA PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS DE DUNCAN PARA NITROGENO FIJADO (% y Kg/Ha) ENTRE VARIETADES A LOS 57 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA.**

CULTIVAR	* MEDIA (%)	MEDIA (Kg/ha)	GRUPO DUNCAN
Icta Ostúa	33.361	10.471	A
JU-937	32.447	9.024	A
Santa Gertrudis	31.363	7.904	A
Rabia de gato	11.703	1.898	B

(\*) : Datos transformados a valores angulares con la fórmula  $\text{Sen}^{-1} \sqrt{X/100}$

#### 7.8. RENDIMIENTO DE GRANO:

Los análisis de varianza de rendimiento en grano de los cultivos de frijol en los dos sistemas de cultivo y también el correspondiente al cultivo de maíz se encuentran en el cuadro 2, en el que se observa que no existen diferencias significativas en ninguno de los casos, lo cual indica que estadísticamente se obtienen los mismos rendimientos con los cultivos estudiados, ya sea que se siembren asociados con maíz ó en monocultivo, de igual manera el maíz no presenta variación en su rendimiento con ninguno de los cultivos con los cuales se le asoció, probablemente debido a que el

desarrollo de las plantas siendo similar ejerció una competencia muy parecida en todos los cultivares. Con respecto a esta variable, se puede observar que los rendimientos obtenidos son bajos, la razón principal de estos resultados es que debido al método utilizado, el frijol no recibió la cantidad de Nitrógeno que hubiera requerido para poder mostrar en esta variable su máximo potencial, sin embargo para este estudio se le considera como una variable secundaria, tomando en cuenta que hasta el momento no se cuenta con un cultivar de frijol que pueda prescindir totalmente del aporte de Nitrógeno proveniente de fertilizantes químicos, para completar sus requerimientos nutricionales, a diferencia de la soya (Glycine max L.), en donde a través de programas de mejoramiento genético han logrado obtener cultivares que obtienen la totalidad del Nitrógeno que necesitan durante su ciclo de vida de la atmósfera, a través de la simbiosis que realizan con bacterias del género Rhizobium, y que en la actualidad son ampliamente cultivadas en países tales como Brasil.

#### 7.9. SINTESIS GENERAL DE DISCUSION:

Haciendo un análisis general se puede 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 el Nitrógeno atmosférico en su sistema. El cultivar Ostúa como ya se mencionó se encuentra adaptado a la zona, pero no demostró ser mejor que JU-937, el cual es una material que proviene de los Ensayos Centroamericanos de Adaptación y Rendimiento (ECAR) de frijol negro, y que bajo las condiciones de la Estación experimental del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) Chimaltenango, resultó en el ensayo realizado por Castellanos (5) como muy promisorio, de igual manera ocurrió en la Estación Experimental del ICTA-Juliapa. El cultivar Santa Gertrudis en sus primeros estadíos presentó

un desarrollo más lento que los otros tres, al final del ensayo no mostró diferencias con respecto a los dos anteriores y es un material que desde hace algún tiempo se ha estado trabajando. Rabia de gato es un cultivar nativo, por esa razón se consideró que podría presentar una buena asociación con la flora microbiana específicamente con bacterias del género *Rhizobium*, promoviendo una alta fijación de Nitrógeno, sin embargo esto no ocurrió y se quedó como el único material inferior en el ensayo, cabe mencionar que esa misma condición de material nativo lo hace muy susceptible a las enfermedades, especialmente al mosaico dorado.

La otra fase de esta investigación correspondió a determinar la influencia que ejercía el sistema de cultivo en los cuatro cultivares, ya sea que el asocio con maíz promoviera la fijación biológica de nitrógeno o si por el contrario la redujera. Los resultados indicaron influencia solamente en el tercer muestreo para la variable número de nódulos, en donde no se puede afirmar que un determinado sistema aumentó el número de nódulos, ya que un cultivar (Oslúa), presentó valores estadísticamente iguales estando en monocultivo ó asociado con maíz, mientras que otros cultivares fueron mejores asociados y otros en monocultivo. La variable fijación de Nitrógeno atmosférico como se observa en el cuadro 2, solamente presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre cultivares, no así entre sistemas de cultivo, caso contrario al que reporta Tsai et al, en Bliss (3), quienes encontraron diferencias en la capacidad de fijación biológica de ciertos cultivares de frijol en función del sistema de cultivo utilizado.

## 8. CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias estadísticas en la cantidad de Nitrógeno proveniente de la fijación biológica entre los cultivares por lo cual se acepta la primera hipótesis planteada.

Se rechaza la segunda hipótesis planteada, ya que no se detectaron diferencias estadísticas entre los cultivares de frijol en asocio con maíz con los cultivares de frijol en monocultivo.

Los cultivares ICTA-Ostúa, Santa Gertrudis y JU-937 presentaron la misma capacidad de fijación biológica de Nitrógeno y fueron superiores al cultivar nativo conocido como Rabia de gato, el cual fué afectado por mosaico dorado.

La fijación biológica de Nitrógeno atmosférico de la variedades de frijol siguió un patrón de respuesta similar en las variables número de nódulos y peso de materia seca de la parte aérea y raíces observadas a los 57 días de la siembra.

## 9. RECOMENDACIONES

El cultivar JU-937 al igual que ICTA-Ostúa y Santa Gertrudis de acuerdo a los resultados obtenidos se puede recomendar como un material adecuado para incluirlo en planes de mejoramiento genético, en donde se busque aprovechar el potencial de fijación biológica de Nitrógeno.

Se recomienda efectuar otras evaluaciones de la capacidad de fijación biológica de Nitrógeno de frijol asociado a maíz y en monocultivo para confirmar o rechazar los resultados obtenidos, ya que difieren de lo reportado por Bliss (3) de las observaciones de Tsai et al.

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. ALFARO V., M.A. 1995. Informe de ensayos realizados en el año 1994. Guatemala, Dirección General de Energía Nuclear, Departamento Agropecuario. 95 p.
2. BIDWELL, R.G.S. 1987. Fisiología vegetal. Trad. por Guadalupe Cano y Manuel Garcidueñas. México, A.G.T. Editor. 784 p.
3. BLISS, F.A.; HARDARSON, G. 1993. Enhancement of biological nitrogen fixation of commonbean in Latin America. Holanda, Kluwer Academic Publisher. 160 p.
4. BROCK, T.D., et al. 1987. Microbiología. 4 ed. México, Prentice-Hall Hispanoamericana. 906 p.
5. CASTELLANOS AMADO, V.H. 1996. Evaluación de la fijación biológica de nitrógeno usando <sup>15</sup>N como marcador isotópico en 15 cultivares de frijol negro (***Phaseolus vulgaris*** L.) proveniente del ensayo centroamericano de adaptación y rendimiento. Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 74 p.
6. CRUZ S., J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
7. DANSO, S.K.A.; ZAPATA, F.; HARDARSON, G. 1987. Soil biology and biochemistry. Gran Bretaña, Pergamon Journals. 415 p.
8. DONAHUE, R.L., et al. 1988. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. 4 ed. México, Prentice-Hall Hispanoamericana. 624 p.
9. FAO (Italia). 1985. Manual técnico de la fijación simbiótica del nitrógeno, leguminosa-Rhizobium. Italia. 174 p.
10. FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 420 p.

11. GRAHAM, P.H.; HARRIS, S.C. 1982. Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture. Colombia, CIAT. 726 p.
12. GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACION. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLA. 1990. Recomendaciones técnicas agropecuarias; Región IV. Guatemala. 70 p.
13. \_\_\_\_\_. Informe sobre variedades próximas a liberarse, año 1995. Guatemala. 25 p.  
  
Sin publicar.
14. GUDIEL, V.M. 1980. Manual agrícola superb. Guatemala, Productos superb. 290 p.
15. HARDARSON, G.; DANSO, S.K.A. 1990. Evaluación de la fijación biológica del Nitrógeno mediante la metodología de  $^{15}\text{N}$ . In Seminario Empleo de Técnicas Nucleares en los Estudios de la Relación Suelo-Planta (1990, Seidersdorf, Austria). Austria. FAO/OIEA. p. 180-215.
16. LITTLE, T.M.; JACKSON HILLS, F. 1989. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 3 ed. México, Trillas. 270 p.
17. LOMA, J.L. DE LA. 1982. Experimentación agrícola. 2 ed. México, Hispano-Americana. 493 p.
18. MILLER, C.E. et al. 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. México, Continental. 527 p.
19. ORELLANA, C.L.; MONZON, F.A.; RODRIGUEZ, R.R. 1994. Ensayos Centroamericanos de adaptación y rendimiento de frijoles rojos y negros. In Memoria Anual del Programa de Frijol I.C.T.A. Guatemala, I.C.T.A. p. 62-97.
20. PEÑA CABRIALES, J.J. 1989. La fijación biológica de Nitrógeno. In Seminario-Taller Biotecnología las Ciencias Agrícolas Avances y Aplicaciones (1989, Guatemala). Guatemala, CATIE/AID/REDCA. p. 42-45.



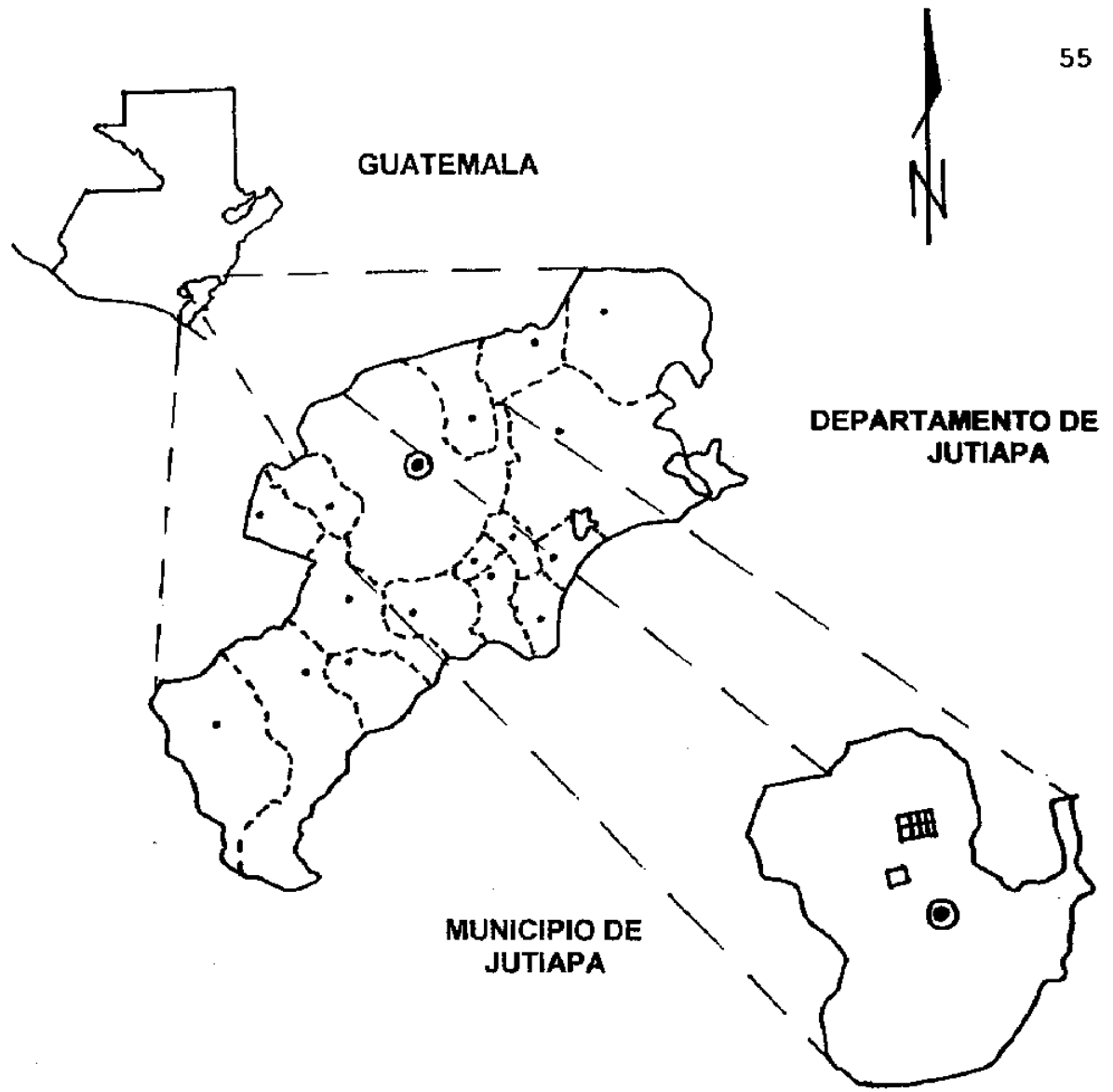
21. RODAS HERNANDEZ, E.A. 1987. Evaluación del potencial de fijación de Nitrógeno por el método  $^{15}\text{N}$ , de 20 líneas preseleccionadas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Ing.Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 54 p.
22. SANCHEZ ROBLES, R. 1986. Producción de granos y forrajes. México, LIMUSA. 608 p.
23. SIMMONS, C.S.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
24. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. México, UTEHA. 760 p.
25. ZAPATA, F. 1981. Determinación cuantitativa de la fijación biológica de Nitrógeno por medio de técnicas isotópicas. In Curso Internacional de Capacitación Sobre Empleo de Técnicas Isotópicas y Radiaciones en el Estudio de las Relaciones Suelo-Planta (1981, Irapuato). México. ININ/OIEA/CEDAF. p. 632-652.



V. B.

Meriam De La Roca

**11. APENDICE.**



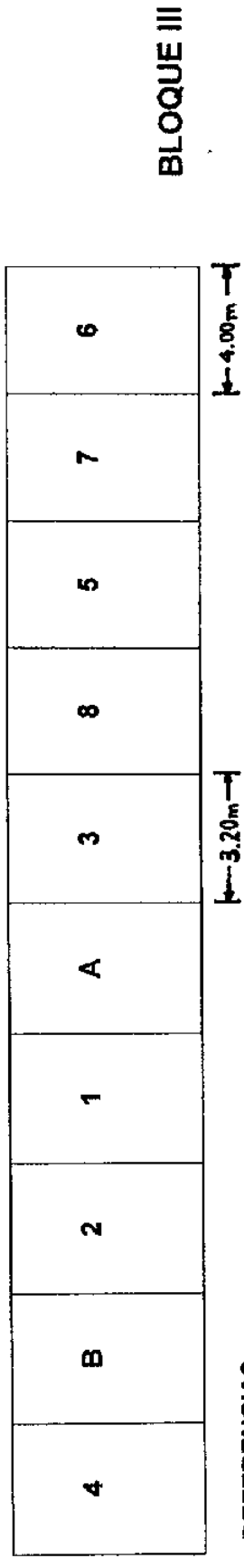
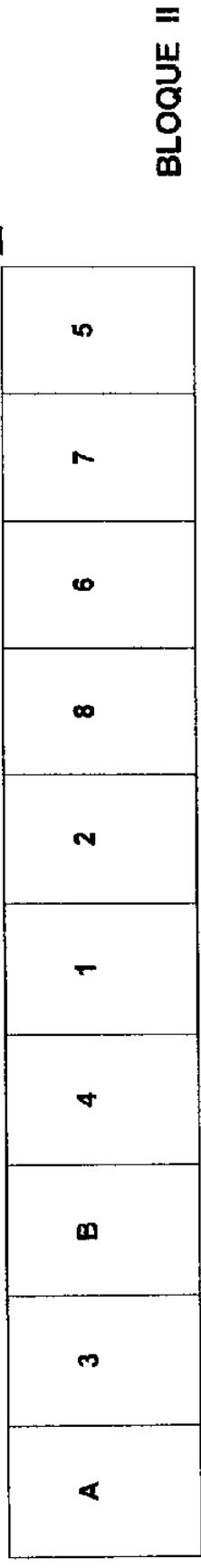
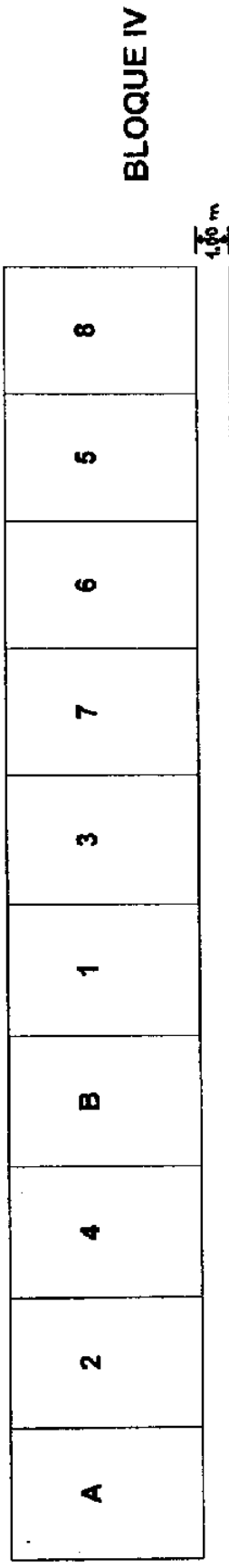
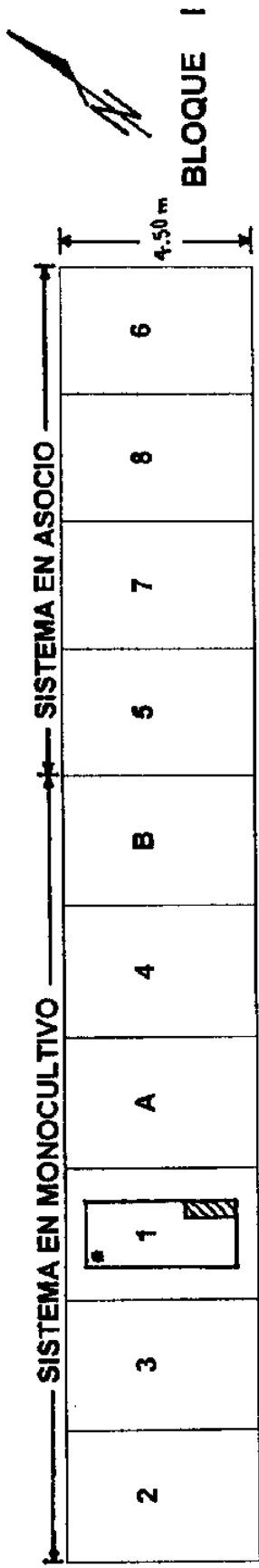
**REFERENCIAS:**

⊙ : Cabecera Departamental

▨ : Aldea Río de la Virgen

□ : Estación experimental del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (I.C.T.A.)

**FIGURA 3A: LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA EXPERIMENTAL.**



**REFERENCIAS:**

- 1: JU-937
- 2: Santa Gertrudis
- 3: Rabia de gato
- 4: ICTA-Ostúa
- 5: Maíz + JU-937
- 6: Maíz + Santa Gertrudis
- 7: Maíz + Rabia de gato
- 8: Maíz + ICTA-Ostúa
- A: Cultivo de referencia (Sorgo)
- B: Cultivo de referencia (Mijo)
- 1: Parcela neta o de rendimiento
- 2: Parcela isotópica

**FIGURA 4A: CROQUIS DEL EXPERIMENTO**

**CUADRO 0A: Detalle de códigos utilizados  
en los cuadros subsiguientes.**

<b>CODIGO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
T1B1	JU-937 Bloque 1
T1B2	JU-937 Bloque 2
T1B3	JU-937 Bloque 3
T1B4	JU-937 Bloque 4
T2B1	Santa Gertrudis Bloque 1
T2B2	Santa Gertrudis Bloque 2
T2B3	Santa Gertrudis Bloque 3
T2B4	Santa Gertrudis Bloque 4
T3B1	Rabia de gato Bloque 1
T3B2	Rabia de gato Bloque 2
T3B3	Rabia de gato Bloque 3
T3B4	Rabia de gato Bloque 4
T4B1	Icta - Ostúa Bloque 1
T4B2	Icta - Ostúa Bloque 2
T4B3	Icta - Ostúa Bloque 3
T4B4	Icta - Ostúa Bloque 4
T5B1	JU-937 + Maíz Bloque 1
T5B2	JU-937 + Maíz Bloque 2
T5B3	JU-937 + Maíz Bloque 3
T5B4	JU-937 + Maíz Bloque 4
T6B1	Sta. Gertrudis + Maíz Bloque 1
T6B2	Sta. Gertrudis + Maíz Bloque 2
T6B3	Sta. Gertrudis + Maíz Bloque 3
T6B4	Sta. Gertrudis + Maíz Bloque 4
T7B1	Rabia de gato + Maíz Bloque 1
T7B2	Rabia de gato + Maíz Bloque 2
T7B3	Rabia de gato + Maíz Bloque 3
T7B4	Rabia de gato + Maíz Bloque 4
T8B1	Icta-Ostúa + Maíz Bloque 1
T8B2	Icta-Ostúa + Maíz Bloque 2
T8B3	Icta-Ostúa + Maíz Bloque 3
T8B4	Icta-Ostúa + Maíz Bloque 4

CUADRO 1A: Datos obtenidos en el muestreo realizado a los 15 días después de la siembra.

TRAT.	No. Pts.	P.S. Follaje (gr)	P.S. Follaje (Kg)	Nit. Total (%)	Rend. Nit. (Kg/Ha)	No. Nodulos	No. Nod/Ha (Miles)	P.S. Nodulos (gr)	P.S. Nodulos (Kg/Ha)
T1B1	6	3.27	136.25	4.39	5.98	86	3583	0.027	1.108
T1B2	6	2.87	119.58	4.42	5.29	12	500	0.003	0.129
T1B3	6	2.16	90.00	4.73	4.26	0	0	0.000	0.000
T1B4	6	2.08	86.67	4.22	3.66	14	583	0.003	0.142
T2B1	6	2.70	112.50	4.71	5.30	26	1083	0.008	0.321
T2B2	6	2.58	107.50	4.80	5.16	23	958	0.007	0.288
T2B3	6	2.71	112.92	4.89	5.52	10	417	0.004	0.146
T2B4	6	2.04	85.00	4.47	3.80	0	0	0.000	0.000
T3B1	6	2.50	104.17	4.12	4.29	6	250	0.005	0.196
T3B2	6	3.44	143.33	6.32	9.06	20	833	0.003	0.117
T3B3	6	2.82	117.50	4.37	5.13	15	625	0.011	0.458
T3B4	6	3.04	126.67	4.20	5.32	6	250	0.004	0.171
T4B1	6	3.84	160.00	5.83	9.33	46	1917	0.026	1.063
T4B2	6	2.30	95.83	4.85	4.65	58	2417	0.027	1.117
T4B3	6	2.17	90.42	4.67	4.22	56	2333	0.024	0.996
T4B4	6	2.31	96.25	5.44	5.24	19	792	0.016	0.675
T5B1	6	2.44	101.67	6.29	6.39	20	833	0.003	0.108
T5B2	6	3.53	147.08	6.70	9.85	58	2417	0.011	0.454
T5B3	6	2.47	102.92	5.33	5.49	100	4167	0.111	4.617
T5B4	6	2.71	112.92	6.05	6.83	58	2417	0.024	0.979
T6B1	6	2.67	111.25	4.51	5.02	29	1208	0.013	0.525
T6B2	6	2.16	90.00	4.36	3.92	3	125	0.005	0.221
T6B3	6	2.07	86.25	3.82	3.29	18	750	0.008	0.329
T6B4	6	2.64	110.00	4.68	5.15	1	42	0.000	0.015
T7B1	6	3.00	125.00	4.73	5.91	48	2000	0.025	1.042
T7B2	6	4.16	173.33	4.10	7.11	54	2250	0.024	1.008
T7B3	6	2.86	119.17	4.38	5.22	34	1417	0.014	0.567
T7B4	6	2.67	111.25	4.22	4.69	1	42	0.000	0.015
T8B1	6	2.96	123.33	4.75	5.86	66	2750	0.035	1.471
T8B2	6	2.88	120.00	4.70	5.64	61	2542	0.026	1.063
T8B3	6	3.67	152.92	4.56	6.97	110	4583	0.064	2.646
T8B4	6	1.62	67.50	3.19	2.15	16	667	0.031	1.292

**REFERENCIA:**

TRAT.: Tratamiento  
No.: Número

Pts.: Plantas  
P.S.: Peso seco

Nit.: Nitrogeno  
Rend.: Rendimiento  
Nod.: Número de nódulos

CUADRO 2A: Datos obtenidos en el muestreo realizado a los 30 días después de la siembra.

TRAT.	No. Pts.	P.S. Follaje (gr)	P.S. Follaje (Kg)	Nit. Total (%)	Rend. Nit. (Kg/Ha)	No. Nódulos	No. Nod/Ha (Milles)	P.S. Nódulos (gr)	P.S. Nódulos (Kg/Ha)
T1B1	6	21.83	909.58	2.41	21.92	178	7417	0.409	17.058
T1B2	6	16.53	688.75	2.70	18.60	165	6875	0.483	20.117
T1B3	6	11.76	490.00	2.45	12.01	102	4250	0.446	18.596
T1B4	6	12.41	517.08	2.59	13.39	161	6708	0.641	26.721
T2B1	6	7.08	295.00	3.61	10.65	93	3875	0.087	3.633
T2B2	6	11.50	479.17	2.89	13.85	18	750	0.118	4.933
T2B3	6	16.66	694.17	2.15	14.92	23	958	0.112	4.650
T2B4	6	20.69	862.08	1.88	16.21	15	625	0.153	6.371
T3B1	6	16.64	693.33	2.23	15.46	174	7250	0.424	17.650
T3B2	6	25.55	1064.58	1.94	20.65	111	4625	0.203	8.454
T3B3	6	24.96	1040.00	2.18	22.67	93	3875	0.123	5.108
T3B4	6	15.92	663.33	1.81	12.01	18	750	0.048	2.004
T4B1	6	23.56	981.67	1.91	18.75	79	3292	0.168	7.000
T4B2	6	15.52	646.67	2.06	13.32	70	2917	0.284	11.825
T4B3	6	18.43	767.92	1.95	14.97	140	5833	0.437	18.208
T4B4	6	7.22	300.83	1.42	4.27	23	958	0.081	3.354
T5B1	6	20.53	855.42	2.02	17.28	224	9333	0.483	20.117
T5B2	6	16.72	696.67	1.62	11.29	111	4625	0.171	7.117
T5B3	6	13.98	582.50	1.96	11.42	146	6083	0.257	10.725
T5B4	6	11.78	490.83	1.71	8.39	26	1083	0.092	3.825
T6B1	6	15.94	664.17	1.71	11.36	195	8125	0.506	21.092
T6B2	6	16.14	672.50	2.23	15.00	21	875	0.085	3.550
T6B3	6	8.74	364.17	1.85	6.74	95	3958	0.100	4.163
T6B4	6	18.86	785.83	1.66	13.04	0	0	0.000	0.000
T7B1	6	14.77	615.42	2.10	12.92	76	3167	0.169	7.046
T7B2	6	19.23	801.25	2.07	16.59	126	5250	0.379	15.792
T7B3	6	17.36	723.33	1.77	12.80	93	3875	0.272	11.346
T7B4	6	17.66	735.83	2.01	14.79	10	417	0.063	2.638
T8B1	6	20.59	857.92	1.58	13.56	84	3500	0.127	5.271
T8B2	6	22.14	922.50	1.82	16.79	157	6542	0.398	16.563
T8B3	6	19.03	792.92	1.87	14.83	121	5042	0.302	12.571
T8B4	6	10.45	435.42	1.51	6.57	16	667	0.039	1.633

**REFERENCIA:**

TRAT: Tratamiento  
No.: Número

Pts.: Plantas  
P.S.: Peso seco

Nit.: Nitrogeno  
Rend.: Rendimiento  
Nod.: Número de nódulos

CUADRO 3A: Datos obtenidos en el muestreo realizado a los 45 días después de la siembra.

TRAT.	No. Pts.	P.S. Follaje (gr)	P.S. Follaje (Kg)	Nif. Total (%)	Rend. Nif. (Kg/Ha)	No. Nódulos	No. Nod/Ha (Miles)	P.S. Nódulos (gr)	P.S. Nódulos (Kg/Ha)
T1B1	6	29.31	1221.25	1.43	17.46	247	10292	0.826	34.417
T1B2	6	33.71	1404.58	1.54	21.63	206	8583	0.663	27.642
T1B3	6	16.58	690.83	1.19	8.22	82	3417	0.123	5.129
T1B4	6	8.70	362.50	1.49	5.40	25	1042	0.013	0.542
T2B1	6	17.67	736.25	1.64	12.07	125	5208	0.189	7.875
T2B2	6	32.98	1374.17	1.27	17.45	91	3792	0.254	10.583
T2B3	6	28.92	1205.00	1.23	14.82	159	6625	0.451	18.792
T2B4	6	42.44	1768.33	2.41	42.62	211	8792	0.610	25.417
T3B1	6	23.20	966.67	2.39	23.10	285	11875	0.657	27.375
T3B2	6	28.57	1190.42	0.93	11.07	258	10750	0.419	17.458
T3B3	6	43.05	1793.75	1.22	21.88	224	9333	0.363	15.113
T3B4	6	19.03	792.92	1.13	8.96	46	1917	0.074	3.079
T4B1	6	33.14	1380.83	1.48	20.44	234	9750	0.469	19.542
T4B2	6	45.00	1875.00	1.57	29.44	236	9833	0.614	25.583
T4B3	6	27.64	1151.67	1.23	14.17	245	10208	0.571	23.792
T4B4	6	20.10	837.50	1.06	8.88	34	1417	0.080	3.313
T5B1	6	23.08	961.67	1.62	15.58	269	11208	0.933	38.875
T5B2	6	22.62	942.50	1.49	14.04	669	27875	0.930	38.750
T5B3	6	34.28	1428.33	1.77	25.28	283	11792	0.502	20.925
T5B4	6	17.14	714.17	1.70	12.14	111	4625	0.177	7.392
T6B1	6	29.17	1215.42	1.39	16.89	192	8000	0.826	34.425
T6B2	6	31.53	1313.75	1.64	21.55	36	1500	0.059	2.458
T6B3	6	12.68	528.33	2.06	10.88	138	5750	0.192	8.004
T6B4	6	27.96	1165.00	1.28	14.91	25	1042	0.047	1.971
T7B1	6	35.56	1481.67	1.47	21.78	165	6875	0.333	13.875
T7B2	6	26.64	1110.00	1.22	13.54	109	4542	0.150	6.254
T7B3	6	22.25	927.08	0.94	8.71	154	6417	0.243	10.125
T7B4	6	28.15	1172.92	1.24	14.54	67	2792	0.248	10.333
T8B1	6	23.62	984.17	1.23	12.11	638	26583	1.233	51.375
T8B2	6	40.33	1680.42	1.02	17.14	288	12000	0.659	27.458
T8B3	6	22.91	954.58	1.17	11.17	286	11917	0.439	18.292
T8B4	6	8.70	362.50	1.48	5.37	65	2708	0.082	3.417

**REFERENCIA:**

TRAT: Tratamiento  
No.: Número

Pts.: Plantas  
P.S.: Peso seco

Nif.: Nitrogeno  
Rend.: Rendimiento  
Nod.: Número de nódulos



CUADRO 4A: Datos obtenidos en el muestreo realizado a los 57 días después de la siembra.

Tratamiento	No. Plantas	Peso seco (gr)			MATERIA SECA (Kg/Ha)			% NITROGENO TOTAL		
		Hojas	Vainas	Raíces	Hojas	Vainas	Raíces	Hojas	Vainas	Raíces
T1B1	30	215.00	79.30	41.94	1791.67	660.83	349.50	1.39	2.17	1.19
T1B2	28	248.60	64.00	45.44	2071.67	533.33	378.67	1.70	2.35	1.12
T1B3	30	82.10	30.13	33.07	821.00	301.00	331.00	1.19	1.70	1.03
T1B4	30	84.27	18.70	36.29	702.25	155.83	302.42	1.43	1.93	1.27
T2B1	24	147.70	44.13	23.44	1230.83	367.75	195.33	1.68	2.21	1.24
T2B2	30	205.60	103.70	42.72	1558.00	786.00	324.00	0.96	2.21	1.11
T2B3	30	77.55	50.00	22.47	718.00	463.00	208.00	1.12	2.15	1.34
T2B4	27	146.50	101.30	39.21	1220.83	844.17	326.75	1.29	1.80	1.11
T3B1	22	115.50	22.33	18.92	962.50	186.08	157.67	1.70	2.84	1.26
T3B2	29	99.20	28.80	22.12	826.67	240.00	184.33	1.03	2.09	1.19
T3B3	27	110.70	18.18	20.87	922.50	151.50	173.92	1.19	2.37	1.26
T3B4	28	87.40	26.70	21.18	728.33	222.50	176.50	0.96	2.17	1.18
T4B1	26	198.40	85.02	42.44	1653.33	708.50	353.67	1.53	2.28	1.02
T4B2	28	206.20	120.90	44.30	1718.33	1007.50	369.17	1.31	2.26	1.06
T4B3	27	121.70	84.21	34.12	1014.17	701.75	284.33	1.19	1.78	1.08
T4B4	12	153.10	96.12	27.10	1275.83	801.00	225.83	1.41	2.29	1.04
T5B1	25	136.20	32.86	39.40	1135.00	273.83	328.33	1.54	1.83	1.19
T5B2	30	99.87	58.76	36.39	1040.00	612.00	379.00	1.44	2.00	1.00
T5B3	30	152.32	80.33	28.45	1269.33	669.42	237.08	1.73	2.42	1.14
T5B4	26	149.80	47.87	28.96	1248.33	398.92	241.33	1.61	2.16	1.18
T6B1	27	165.90	85.12	48.62	1382.50	709.33	405.17	1.16	2.21	1.02
T6B2	29	193.90	129.33	45.78	1615.83	1077.75	381.50	1.69	2.21	0.94
T6B3	30	73.40	58.60	18.94	734.00	586.00	189.00	1.44	2.08	0.82
T6B4	25	107.20	49.61	27.28	1072.00	496.00	273.00	1.35	2.25	1.03
T7B1	23	148.40	15.35	14.13	1236.67	127.92	117.75	1.82	2.34	1.35
T7B2	30	84.10	29.21	16.13	841.00	292.00	161.00	1.14	1.86	1.19
T7B3	30	71.50	59.60	18.02	638.00	532.00	161.00	1.10	2.31	1.18
T7B4	30	194.30	29.34	21.77	1619.17	244.50	181.42	1.72	2.34	1.19
T8B1	30	76.50	37.72	18.46	832.00	410.00	201.00	1.41	2.09	1.14
T8B2	28	141.30	95.70	27.89	1177.50	797.50	232.42	1.32	2.11	1.05
T8B3	30	93.50	71.45	27.38	935.00	715.00	274.00	0.85	2.02	0.96
T8B4	31	182.50	87.97	36.55	1520.83	733.08	304.58	1.56	1.96	1.10

No.: Número.

gr: Gramos

Kg/Ha: Kilogramos por hectárea

%: Porcentaje

Continuación cuadro 4A ...

Tratamiento	NITROGENO TOTAL (Kg/Ha)			Atomos en exceso de Nitrogeno 15			Nitrogeno Fijado			
	Hojas	Vainas	Raíces	P.A.	Hojas	Vainas	Raíces	P.A.	(%)	(Kg/Ha)
T1B1	24.90	14.34	4.16	39.24	0.37	0.19	0.43	0.30	52.46	20.59
T1B2	35.22	12.53	4.24	47.75	0.41	0.28	0.58	0.38	23.29	11.12
T1B3	9.77	5.12	3.41	14.89	0.43	0.43	0.88	0.43	29.51	4.39
T1B4	10.04	3.01	3.84	13.05	0.50	0.35	0.67	0.47	18.35	2.39
T2B1	20.68	8.13	2.42	28.81	0.50	0.31	0.59	0.45	30.25	8.71
T2B2	14.96	17.37	3.60	32.33	0.50	0.37	0.71	0.43	12.21	3.95
T2B3	8.04	9.95	2.79	18.00	0.45	0.45	0.98	0.45	26.23	4.72
T2B4	15.75	15.20	3.63	30.94	0.52	0.36	0.82	0.44	22.56	6.98
T3B1	16.36	5.28	1.99	21.65	0.51	0.47	0.85	0.50	21.84	4.73
T3B2	8.51	5.02	2.19	13.53	0.81	0.81	0.97	0.81	0.00	0.00
T3B3	10.98	3.59	2.19	14.57	0.68	0.68	0.90	0.68	0.00	0.00
T3B4	6.99	4.83	2.08	11.82	0.73	0.73	1.29	0.73	0.00	0.00
T4B1	25.30	16.15	3.61	41.45	0.45	0.26	0.60	0.38	41.26	17.10
T4B2	22.51	22.77	3.91	45.28	0.46	0.29	0.48	0.37	23.57	10.67
T4B3	12.07	12.49	3.07	24.56	0.44	0.32	0.60	0.38	37.87	9.30
T4B4	17.99	18.34	2.35	36.33	0.33	0.25	0.56	0.29	49.19	17.87
T5B1	17.48	5.01	3.91	22.49	0.45	0.34	0.67	0.43	33.52	7.54
T5B2	14.98	12.24	3.79	27.22	0.50	0.32	0.61	0.42	14.48	3.94
T5B3	21.96	16.20	2.70	38.16	0.43	0.26	0.66	0.36	41.34	15.77
T5B4	20.10	8.62	2.85	28.71	0.49	0.33	0.76	0.44	22.46	6.45
T6B1	16.04	15.68	4.13	31.71	0.57	0.40	0.65	0.49	24.07	7.63
T6B2	27.31	23.82	3.59	51.13	0.49	0.26	0.58	0.38	21.87	11.18
T6B3	10.57	12.19	1.55	22.76	0.31	0.28	0.58	0.29	51.81	11.79
T6B4	14.47	11.16	2.81	25.63	0.46	0.29	0.60	0.39	32.28	8.27
T7B1	22.51	2.99	1.59	25.50	0.56	0.56	0.13	0.56	12.50	3.19
T7B2	9.59	5.43	1.92	15.02	0.71	0.71	0.65	0.71	0.00	0.00
T7B3	7.02	12.29	1.90	19.31	0.49	0.49	0.71	0.49	19.67	3.80
T7B4	27.85	5.72	2.16	33.57	0.53	0.42	0.48	0.51	10.31	3.46
T8B1	11.73	8.57	2.29	20.30	0.53	0.53	0.90	0.53	17.19	3.49
T8B2	15.54	16.83	2.44	32.37	0.44	0.32	0.63	0.38	22.93	7.42
T8B3	7.95	14.44	2.63	22.39	0.50	0.50	0.63	0.50	18.03	4.04
T8B4	23.73	14.37	3.35	38.09	0.40	0.30	0.55	0.36	36.44	13.88

Kg/Ha: Kilogramos por hectárea

% : Porcentaje

P.A. : Parte aérea (Hojas + Vainas)

Tratamiento	Número de nódulos		Peso seco nódulos	
	(muestra)	Miles/Ha	(gr/muestra)	(Kg/Ha)
T1B1	225	1875	0.218	1.820
T1B2	357	3188	0.537	4.793
T1B3	509	4242	0.727	6.060
T1B4	209	1742	0.238	1.987
T2B1	584	6083	1.236	12.879
T2B2	225	1875	0.402	3.348
T2B3	279	2325	0.259	2.158
T2B4	327	3028	0.860	7.966
T3B1	100	1136	0.198	2.250
T3B2	53	457	0.106	0.914
T3B3	54	500	0.067	0.620
T3B4	47	420	0.046	0.411
T4B1	73	702	0.277	2.660
T4B2	642	5732	1.143	10.201
T4B3	103	954	0.219	2.031
T4B4	111	2313	0.138	2.867
T5B1	1064	10640	1.634	16.344
T5B2	1695	14125	2.776	23.129
T5B3	467	3892	0.443	3.689
T5B4	259	2490	0.285	2.740
T6B1	1180	10926	2.614	24.201
T6B2	74	638	0.344	2.966
T6B3	208	1733	0.279	2.321
T6B4	36	360	0.040	0.403
T7B1	68	739	0.086	0.935
T7B2	62	517	0.097	0.810
T7B3	140	1167	0.185	1.545
T7B4	35	292	0.063	0.525
T8B1	348	2900	0.362	3.018
T8B2	461	4116	0.638	5.694
T8B3	410	3417	0.965	8.041
T8B4	69	556	0.102	0.826

**REFERENCIA:**

Ha: Hectárea

gr: Gramos

Kg/Ha : Kilogramos por hectárea

**CUADRO 5A: Análisis de varianza de la Materia seca de la parte aérea (Kg/Ha). Muestreo 1.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	3249.875	1083.292	3.188	0.1832
Sistema	1	153.125	153.125	0.451	0.5522 (N.S.)
Error A	3	1019.375	339.792		
Subtotal A	7	4422.375			
Cultivares	3	2664.813	888.271	1.591	0.2258 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	256.063	85.354	0.153	0.9238 (N.S.)
Error B	18	10052.280	558.460		
TOTAL	31	17395.530			

Coefficiente de variación (%) A: 16.209

Coefficiente de variación (%) B: 20.780

N.S.: No existen diferencias estadísticamente significativas.

**CUADRO 6A: Análisis de varianza de la Materia seca de las raíces (Kg/Ha). Muestreo 1.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	82.701	27.567	1.268	0.4247
Sistema	1	3.648	3.648	0.168	0.7068 (N.S.)
Error A	3	65.217	21.739		
Subtotal A	7	151.566			
Cultivares	3	383.830	127.943	3.548	0.0349 (*)
Interacción Sist-Cult.	3	36.375	12.125	0.336	0.8013 (N.S.)
Error B	18	649.143	36.063		
TOTAL	31	1220.914			

Coefficiente de variación (%) A: 17.165

Coefficiente de variación (%) B: 22.109

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\* : Existen diferencias estadísticamente significativas

**CUADRO 7A: Análisis de varianza del Nitrógeno total (Kg/Ha). Muestreo 1.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	15.965	5.322	12.951	0.0317
Sistema	1	0.336	0.336	0.819	0.5653 (N.S.)
Error A	3	1.233	0.411		
Subtotal A	7	17.534			
Cultivares	3	8.535	2.845	1.081	0.3831 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	12.447	4.149	1.576	0.2291 (N.S.)
Error B	18	47.373	2.632		
TOTAL	31	85.890			

Coefficiente de variación (%) A: 11.675

Coefficiente de variación (%) B: 29.547

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

**CUADRO 8A: Análisis de varianza del Número de nódulos/Ha. Muestreo 1.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	4152.445	1384.149	2.837	0.2071
Sistema	1	169.137	169.137	0.347	0.5988 (N.S.)
Error A	3	1463.774	487.924		
Subtotal A	7	5785.356			
Cultivares	3	2244.602	748.201	3.810	0.0278 ( * )
Interacción Sist-Cult.	3	202.453	67.484	0.344	0.7962 (N.S.)
Error B	18	3535.086	196.394		
TOTAL	31	11767.500			

Coefficiente de variación (%) A: 68.204

Coefficiente de variación (%) B: 43.271

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\* : Existen diferencias estadísticamente significativas

NOTA: Datos transformados de variables discretas a continuas con la fórmula  $\sqrt{X}$

**CUADRO 9A: Análisis de varianza del Peso seco de nódulos (Kg/Ha). Muestreo 1.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	77.909	25.970	0.893	0.5359
Sistema	1	11.695	11.695	0.402	0.5729 (N.S.)
Error A	3	87.233	29.078		
Subtotal A	7	176.837			
Cultivares	3	66.907	22.302	0.882	0.5286 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	80.509	26.836	1.061	0.3912 (N.S.)
Error B	18	455.318	25.295		
TOTAL	31	779.571			

Coefficiente de variación (%) A: 344.486

Coefficiente de variación (%) B: 321.301

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

**CUADRO 10A: Análisis de varianza de la Materia seca de la parte aérea (Kg/Ha). Muestreo 2.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	108001	36000.330	2.489	0.2363
Sistema	1	292	292.000	0.02	0.8907 (N.S.)
Error A	3	43395	14465.000		
Subtotal A	7	151688			
Cultivares	3	160024	53341.000	1.116	0.3691 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	57939	19313.000	0.404	0.7546 (N.S.)
Error B	18	860000	47777.780		
TOTAL	31	1229651			

Coefficiente de variación (%) A: 17.422

Coefficiente de variación (%) B: 31.663

N.S.: No existen diferencias estadísticamente significativas.

**CUADRO 11A: Análisis de varianza de la Materia seca de las raíces (Kg/Ha). Muestreo 2.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	8443.750	2814.583	9.224	0.0505
Sistema	1	31.750	31.750	0.104	0.7625 (N.S.)
Error A	3	915.438	305.146		
Subtotal A	7	9390.938			
Cultivares	3	25773.380	8591.125	3.952	0.0247 ( * )
Interacción Sist-Cult.	3	537.500	179.167	0.082	0.9681 (N.S.)
Error B	18	39127.250	2173.736		
TOTAL	31	74829.060			

Coefficiente de variación (%) A: 10.519

Coefficiente de variación (%) B: 28.076

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\* : Existen diferencias estadísticamente significativas

**CUADRO 12A: Análisis de varianza del Nitrógeno total (Kg/Ha). Muestreo 2.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	105.458	35.153	6.087	0.0865
Sistema	1	50.678	50.678	8.776	0.0580 (N.S.)
Error A	3	17.324	5.775		
Subtotal A	7	173.459			
Cultivares	3	55.328	18.443	1.147	0.3577 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	22.464	7.488	0.466	0.7132 (N.S.)
Error B	18	289.512	16.084		
TOTAL	31	540.764			

Coefficiente de variación (%) A: 17.201

Coefficiente de variación (%) B: 28.707

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

CUADRO 13A: Análisis de varianza del Número de nódulos/Ha. Muestreo 2.

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	9142.992	3047.664	8.725	0.0544
Sistema	1	63.047	63.047	0.180	0.6973 (N.S.)
Error A	3	1047.953	349.318		
Subtotal A	7	10253.990			
Cultivares	3	4492.219	1497.406	5.988	0.0054 (**)
Interacción Sist-Cult.	3	464.078	154.693	0.619	0.6153 (N.S.)
Error B	18	4501.571	250.087		
TOTAL	31	19711.860			

Coefficiente de variación (%) A: 31.143

Coefficiente de variación (%) B: 26.351

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\*\* : Existen diferencias estadísticas altamente significativas

NOTA: Datos transformados de variables discretas a continuas con la fórmula  $\sqrt{x}$

CUADRO 14A: Análisis de varianza del Peso seco de nódulos (Kg/Ha). Muestreo 2.

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	236.877	78.959	2.845	0.2065
Sistema	1	55.908	55.908	2.014	0.2508 (N.S.)
Error A	3	83.267	27.756		
Subtotal A	7	376.053			
Cultivares	3	354.745	118.248	2.648	0.0794 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	204.56	68.187	1.527	0.2410 (N.S.)
Error B	18	803.806	44.656		
TOTAL	31	1739.164			

Coefficiente de variación (%) A: 47.907

Coefficiente de variación (%) B: 60.766

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas



**CUADRO 15A: Análisis de varianza de la Materia seca de la parte aérea (Kg/Ha). Muestreo 3.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	566560	188853.30	2.531	0.2324
Sistema	1	28200	28200.00	0.378	0.5839 (N.S.)
Error A	3	223844	74614.66		
Subtotal A	7	818604			
Cultivares	3	375992	125330.70	0.823	0.5004 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	102156	34052.00	0.224	0.8789 (N.S.)
Error B	18	2740400	152244.40		
TOTAL	31	4037152			

Coefficiente de variación (%) A: 23.914

Coefficiente de variación (%) B: 34.160

N.S.: No existen diferencias estadísticamente significativas.

**CUADRO 16A: Análisis de varianza de la Materia seca de las raíces (Kg/Ha). Muestreo 3.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	18135.38	6045.125	1.005	0.4984
Sistema	1	804.00	804.000	0.134	0.7346 (N.S.)
Error A	3	18042.88	6014.292		
Subtotal A	7	36982.25			
Cultivares	3	62337.75	20779.250	3.519	0.0358 ( * )
Interacción Sist-Cult.	3	14852.75	4950.917	0.839	0.5073 (N.S.)
Error B	18	106274.60	5904.146		
TOTAL	31	220447.40			

Coefficiente de variación (%) A: 32.141

Coefficiente de variación (%) B: 31.845

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\* : Existen diferencias estadísticamente significativas

**CUADRO 17A: Análisis de varianza del Nitrógeno total (Kg/Ha). Muestreo 3.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	105.625	35.208	5.702	0.0938
Sistema	1	50.047	55.047	8.914	0.0569 (N.S.)
Error A	3	18.525	6.175		
Subtotal A	7	179.197			
Cultivares	3	88.877	29.626	0.393	0.7625 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	132.443	44.148	0.585	0.6360 (N.S.)
Error B	18	1358.452	75.470		
TOTAL	31	1758.970			

Coefficiente de variación (%) A: 15.493

Coefficiente de variación (%) B: 54.164

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

**CUADRO 18A: Análisis de varianza del Número de nódulos/Ha. Muestreo 3.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	11688.310	3896.104	37.130	0.007
Sistema	1	887.875	887.875	8.461	0.0607 (N.S.)
Error A	3	314.797	104.932		
Subtotal A	7	12890.990			
Cultivares	3	4322.391	1440.797	2.602	0.0830 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	5350.797	1783.599	3.221	0.0467 ( * )
Error B	18	9967.266	553.737		
TOTAL	31	32531.440			

Coefficiente de variación (%) A: 11.971

Coefficiente de variación (%) B: 27.500

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\* : Existen diferencias estadísticamente significativas

NOTA: Datos transformados de variables discretas a continuas con la fórmula  $\sqrt{X}$

CUADRO 19A: Análisis de varianza del Peso seco de nódulos (Kg/Ha). Muestreo 3.

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	1421.759	473.920	13.443	0.0301
Sistema	1	12.231	12.231	0.347	0.5987 (N.S.)
Error A	3	105.760	35.253		
Subtotal A	7	1539.750			
Cultivares	3	418.611	139.537	0.999	0.5826 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	187.582	62.527	0.448	0.7252 (N.S.)
Error B	18	2514.484	139.694		
TOTAL	31	4660.427			

Coefficiente de variación (%) A: 34.578

Coefficiente de variación (%) B: 68.832

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

CUADRO 20A: Análisis de varianza de la Materia seca de la parte aérea (Kg/Ha). Muestreo 4.

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	1591800	530600.0	1.923	0.3015
Sistema	1	4376	4376.0	0.016	0.9033 (N.S.)
Error A	3	827576	275858.7		
Subtotal A	7	2423752			
Cultivares	3	2752888	917629.3	4.697	0.0135 ( * )
Interacción Sist-Cult.	3	639456	213152.0	1.091	0.3790 (N.S.)
Error B	18	3516208	195344.9		
TOTAL	31	9332304			

Coefficiente de variación (%) A: 30.941

Coefficiente de variación (%) B: 26.037

N.S.: No existen diferencias estadísticamente significativas.

\* : Existen diferencias estadísticamente significativas

**CUADRO 21A: Análisis de varianza de la Materia seca de las raíces (Kg/Ha). Muestreo 4.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	19907.50	6635.834	14.116	0.0281
Sistema	1	2337.75	2337.750	4.973	0.1113 (N.S.)
Error A	3	1410.25	470.083		
Subtotal A	7	23655.50			
Cultivares	3	110082.50	36694.170	10.384	0.0005 (**)
Interacción Sist-Cult.	3	13000.50	4333.500	1.226	0.3291 (N.S.)
Error B	18	63605.50	3533.639		
TOTAL	31	210344.00			

Coefficiente de variación (%) A: 8.251

Coefficiente de variación (%) B: 22.622

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\*\* : Existen diferencias estadísticas altamente significativas

**CUADRO 22A: Análisis de varianza del Nitrógeno total (Kg/Ha). Muestreo 4.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	519.848	173.283	1.331	0.4096
Sistema	1	12.693	12.693	0.097	0.7693 (N.S.)
Error A	3	390.570	130.190		
Subtotal A	7	923.111			
Cultivares	3	807.416	269.139	3.339	0.0420 (*)
Interacción Sist-Cult.	3	318.729	106.243	1.318	0.2991 (N.S.)
Error B	18	1450.887	80.605		
TOTAL	31	3500.143			

Coefficiente de variación (%) A: 41.092

Coefficiente de variación (%) B: 32.333

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\* : Existen diferencias estadísticamente significativas

CUADRO 23A: Análisis de varianza del Nitrógeno Fijado (%). Muestreo 4.

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	713.818	237.939	1.885	0.3069
Sistema	1	11.504	11.504	0.091	0.7761 (N.S.)
Error A	3	378.596	126.199		
Subtotal A	7	1103.918			
Cultivares	3	2583.902	861.301	18.410	0.0001 (**)
Interacción Sist-Cult.	3	416.262	138.754	2.966	0.0589 (N.S.)
Error B	18	842.115	46.784		
TOTAL	31	4946.198			

Coefficiente de variación (%) A: 41.272

Coefficiente de variación (%) B: 25.129

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\*\* : Existen diferencias estadísticas altamente significativas

NOTA: Datos transformados a valores angulares con la fórmula del Arcoseno =  $\text{Señ} \sqrt{X/100}$

CUADRO 24A: Análisis de varianza del Nitrógeno fijado (Kg/Ha). Muestreo 4.

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	42.090	14.030	0.293	0.83
Sistema	1	3.558	3.558	0.074	0.7960 (N.S.)
Error A	3	143.874	47.958		
Subtotal A	7	189.521			
Cultivares	3	340.619	113.540	7.460	0.0022 (**)
Interacción Sist-Cult.	3	114.934	38.311	2.517	0.0900 (N.S.)
Error B	18	273.973	15.221		
TOTAL	31	919.047			

Coefficiente de variación (%) A: 94.554

Coefficiente de variación (%) B: 53.268

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\*\* : Existen diferencias estadísticas altamente significativas

**CUADRO 25A: Análisis de varianza del Número de nódulos/Ha. Muestreo 4.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	2712664	904221.3	1.626	0.3488
Sistema	1	419528	419528.0	0.755	0.5485 (N.S.)
Error A	3	1667816	555938.7		
Subtotal A	7	4800008			
Cultivares	3	7462264	2487421.0	6.173	0.0048 (**)
Interacción Sist-Cult.	3	1811296	603765.3	1.498	0.2482 (N.S.)
Error B	18	7253112	402950.7		
TOTAL	31	21326680			

Coefficiente de variación (%) A: 49.116

Coefficiente de variación (%) B: 41.815

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

\*\* : Existen diferencias estadísticas altamente significativas

NOTA: Datos transformados de variables discretas a continuas con la fórmula  $\sqrt{X}$

**CUADRO 26A: Análisis de varianza del Peso seco de nódulos (Kg/Ha). Muestreo 4.**

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	175.008	58.336	2.321	0.2530
Sistema	1	36.573	36.573	1.455	0.3147 (N.S.)
Error A	3	75.415	25.138		
Subtotal A	7	286.996			
Cultivares	3	216.561	72.187	2.224	0.1196 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	86.999	29.000	0.893	0.5343 (N.S.)
Error B	18	584.223	32.457		
TOTAL	31	1174.780			

Coefficiente de variación (%) A: 100.182

Coefficiente de variación (%) B: 113.835

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

CUADRO 27A: Análisis de varianza del Rendimiento en grano de frijol (Kg/Ha). Muestreo 4.

Fuente variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Significancia
Bloque	3	38615.25	12871.750	1.521	0.3688
Sistema	1	2914.75	2914.750	0.344	0.6000 (N.S.)
Error A	3	25391.50	8463.833		
Subtotal A	7	66921.50			
Cultivares	3	192915.80	64305.250	1.991	0.1506 (N.S.)
Interacción Sist-Cult.	3	11503.75	3834.583	0.119	0.9472 (N.S.)
Error B	18	581302.80	32294.600		
TOTAL	31	852643.80			

Coefficiente de variación (%) A: 32.631

Coefficiente de variación (%) B: 63.740

N.S. : No existen diferencias estadísticamente significativas

**SECTOR PUBLICO AGROPECUARIO Y DE ALIMENTACION**  
**INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS**  
**DISCIPLINA DE MANEJO DE SUELOS**  
 7a. Av. 3-67, Zona 13, La Aurora, Tel. 63942

DIRECCION A DONDE SE ENVIARAN LOS RESULTADOS

Nombre J. GEN.

Dirección Centro exp. I.C.T.A. Guatemala

Nombre de la Finca \_\_\_\_\_

E Aldea más cercana \_\_\_\_\_

L Municipio Guatemala

A Departamento Guatemala

G Agricultor Manuel Antonio Rojas

NOTA: USE UNA CASILLA PARA CADA MUESTRA LLENANDO ORIGINAL Y COPIA

Campo No.	1																	
Muestra No.																		
Area que representa cada muestra																		
Cultivo Anterior																		
Fertilizante usado (fórmula)																		
Cuántos quintales usó por manzana																		
Rendimiento que obtuvo																		
Qué cultivo desea recomendación																		
Mes que sembrará																		
Edad si son cultivos perennes																		

PARA USO EXCLUSIVO DEL LABORATORIO.

482

Muestra No.	Laboratorio	pH	Microgramos/ml.			Mg/100 ml de Suelo		Recomendación Número
			P	K	Ca	Mg		
1	486	5.2	5.20	195	6.92	1.83		

Caract. -



*Manuel Colacho*  
Laboratorio de Suelos

Fecha: 18/4/94



SECTOR PUBLICO AGROPECUARIO Y DE ALIMENTACION  
 INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS  
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA  
 7A. AVENIDA 3-67 ZONA 13  
 FINCA NACIONAL "LA AURORA"  
 TELFAX 502 2 720161  
 GUATEMALA, C.A.

MUESTRAS: SUELOS  
 PROCEDENCIA: JUTIAPA  
 INTERESADO: MA. ANTONIETA ALFARO

OFICIO No: LS-96-067  
 INGRESO No: 482  
 FECHA DE INGRESO: 5/4/96  
 PROCESAMIENTO: 24/4/96

DATOS DEL LABORATORIO

ING.	Z			CLASE TEXTURAL	M.O.	mg/100 cc					S.B.	ppm				
	ARCILLA	LILO	ARENA			CIC	Ca	Mg	Na	K		H*	Fe	Cu	Mn	Zn
482	33.86	17.14	49.00	FCO.ARC.ARE	2.18	34.85	19.46	2.59	0.29	0.82	11.69	66.46	11.5	2.25	18.8	1.8

\*Por diferencia con respecto a CTI. Fe, Cu, Mn y Zn, extraidos con HCl 0.1 N.

Atentamente:



*Mgh de Colocho*  
 Ing. Margarita H. de Colocho  
 Jefe de Laboratorio

Mgh/wabp  
 cc archivo.



FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGRONOMICAS

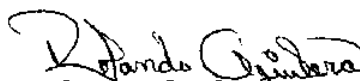
LA TESIS TITULADA: "CUANTIFICACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO DE CUATRO CULTIVARES DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.), ASOCIADOS AL MAIZ (Zea mays L.), Y EN MONOCULTIVO, UTILIZANDO <sup>15</sup>N COMO ISOTOPO MARCADOR, EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA"

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: RONALD ENSHOVER ELIAS OSORIO

CARNET No: 8813180

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera  
Ing. Agr. Boris Augusto Méndez Paiz  
Ing. Agr. Domingo Amador Pérez


El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

  
Ing. Agr. Rolando Gustavo Aguilera Mejía  
A S E S O R

  
Ing. Agr. M.Sc. Alvaro Hernández Dávila  
DIRECTOR DEL IIA.

ALVARO GUSTAVO HERNANDEZ DAVILA  
ING. AGRONOMO  
COLEGIADO # 502

I M P R I M A S E

  
Ing. Agr M.Sc. Edgar Oswaldo Franco Rivera  
D E C A N O



cc:Control Académico  
IIA.  
Archivo  
AH/prr..

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.  
TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: [lusac.edu.gt](mailto:lusac.edu.gt) § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>