

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

EVALUACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO USANDO ^{15}N COMO
MARCADOR ISOTOPICO EN 15 CULTIVARES DE FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*
L.) PROVENIENTE DEL ENSAYO CENTROAMERICANO DE ADAPTACION Y RENDIMIENTO

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

POR

VICTOR HUGO CASTELLANOS AMADO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

GUATEMALA, MAYO DE 1996

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. JOSE ROLANDO LARA LECIO
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. WILLIAM ESCOBAR LOPEZ
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. CARLOS ROBERTO MOTTA
VOCAL CUARTO:	P.A. HENRY ESTUARDO ESPINA
VOCAL QUINTO:	Br. MYNOR JOAQUIN BARRIOS OCHAETA
SECRETARIO:	Ing. Agr. GUILLERMO MENDEZ B.

Guatemala, mayo de 1996.

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

Señores representantes:

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

"EVALUACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO USANDO ^{15}N COMO MARCADOR ISOTOPICO EN 15 CULTIVARES DE FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris* L.) PROVENIENTE DEL ENSAYO CENTROAMERICANO DE ADAPTACION Y RENDIMIENTO"

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

Esperando que el presente trabajo de investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento por la atención a la presente.

Atentamente,



Victor Hugo Castellanos Amado

ACTO QUE DEDICO

A DIOS TODO PODEROSO

Por haberme dado la fortaleza necesaria para alcanzar una de mis metas. Gracias Dios mío.

A MI MADRE

Gloria Rosalina Amado Alfaro. Este título te pertenece madre bendita, por tu nobleza, dedicación y fidelidad.

A MI PADRE

Evarardo Castellanos con respeto.

A MIS HERMANAS

Gloria y Mirna, por su cariño y apoyo en todo momento.

A MIS SOBRINOS

Jimmy, Oscarín y Fabio.

A MIS ABUELOS

Marta Dolores Alfaro Carranza (Mamá Lolita)
Victor Manuel Amado Bustamante (Q.E.P.D.)

Avelina Rodríguez Vda. de Castellanos.
Julio Castellanos Castillo (Q.E.P.D.)

A MIS TIOS

En especial a Tía Amparito, por su apoyo incondicional. Tío Chiqui, Otto, Carol y Vinicio.

A MIS AMIGOS Y COMPANEROS

De la Facultad de Agronomía, de la promoción 85-87 de la E.N.C.A., de la D.G.E.N. y de Palín, como una muestra de amistad.

TESIS QUE DEDICO

A:

Departamento de Escuintla, tierra que me vio nacer y la que debo mucho de lo que soy.

Gloriosa Escuela Nacional Central de Agricultura.

Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Licenciado Sergio Rodolfo Rodríguez Jiménez. Ex-Director General de Energía Nuclear.

Sección de aplicaciones nucleares en agropecuaria de la Dirección General de Energía Nuclear.

Campeinado del altiplano central de Guatemala, por su lucha de cada día.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores Ing. Agr. María Antonieta Alfaro (Dirección General de Energía Nuclear) e Ing. Agr. M.Sc. Rolando Gustavo Aguilera Mejía (Facultad de Agronomía, USAC), por toda la asesoría recibida, ayuda y consejos dados.

Ing. Agr. Juan José Soto, del Programa de Frijol-ICTA Chimaltenango, por la colaboración prestada en la realización del experimento.

Personal del programa de Frijol de la Estación Experimental del ICTA en Chimaltenango.

Todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a hacer posible este trabajo.

CONTENIDO

PAGINA

INDICE DE FIGURAS		iii
INDICE DE CUADROS		iv
RESUMEN		vii
1.	INTRODUCCION	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3.	MARCO TEORICO	4
3.1.	MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1.	Formas de nitrógeno en el suelo	4
3.1.2.	Procesos de asimilación del nitrógeno	4
3.1.3.	Procesos de abastecimiento de nitrógeno	5
3.1.4.	Fijación simbiótica de nitrógeno <i>Rhizobium leguminosa</i>	6
3.1.5.	Descripción del género <i>Rhizobium</i>	6
3.1.6.	Formación de nódulos	6
3.1.7.	Métodos para la determinación cuantitativa de la fijación biológica del nitrógeno	7
3.1.8.	Isótopos del nitrógeno	7
3.1.9.	Uso de técnicas trazadoras con ¹⁵ N para la determinación cuantitativa de la fijación simbiótica de nitrógeno por las leguminosas	8
3.1.10.	Investigaciones usando la técnica del ¹⁵ N en fijación biológica del nitrógeno	9
3.2.	MARCO REFERENCIAL	12
3.2.1.	Características de los materiales experimentales	12
3.2.1.1.	Ensayos Centroamericanos de adaptación y rendimiento (ECAR) de frijol negro	12
3.2.1.2.	Cultivares de frijol evaluados	13
3.2.1.3.	Cepas de <i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar <i>phaseoli</i>	19
3.2.1.4.	Cultivo de referencia	19
3.2.2.	Localización y descripción del área experimental	20
3.2.2.1.	Ubicación geográfica	20
3.2.2.2.	Condiciones climáticas	20
3.2.2.3.	Condiciones edáficas	20
3.2.2.4.	Cantidad de nutrientes en el suelo	21
4.	OBJETIVOS	22
5.	HIPOTESIS	22
6.	METODOLOGIA	23
6.1.	MATERIAL Y EQUIPO	23
6.2.	METODOS	24
6.2.1.	Material experimental	24
A.	Semilla de frijol	24
B.	Cultivo no fijador de nitrógeno atmosférico	24
C.	Inoculante aplicado	25

D.	Fertilizante nitrogenado	25
6.2.2.	Diseño experimental	25
6.2.3.	Tratamientos	25
6.2.4.	Unidad experimental y área del experimento	26
6.2.5.	Variabes respuestas	27
6.2.6.	Modelo estadístico	27
6.2.7.	Manejo del experimento	28
6.2.7.1.	Inoculación de la semilla	28
6.2.7.2.	Etapa de campo	28
A.	Preparación del terreno	28
B.	Siembra	29
C.	Programa de fertilización	29
D.	Control de malezas	30
E.	Control de plagas y enfermedades	30
6.2.7.3.	Procedimiento para la toma y manejo de muestras y sub-muestras en el campo y laboratorio	31
A.	En el campo	31
B.	El manejo de la sub-muestra en laboratorio	32
C.	Manejo de las raíces en laboratorio	33
6.2.7.4.	Cálculos para la cuantificación de las variables	33
A.	Valores medidos	33
B.	Valores calculados	34
6.2.8.	Análisis de la información	35
7.	RESULTADOS Y DISCUSION	36
7.1.	RESULTADOS	36
7.2.	DISCUSION DE RESULTADOS	38
8.	CONCLUSIONES	55
9.	RECOMENDACIONES	56
10.	BIBLIOGRAFIA	57
11.	APENDICE	60

INDICE DE FIGURAS

PAGINA

1.	Rendimiento de materia seca y de nitrógeno total	42
2.	Rendimiento de grano de los cultivares en estudio.....	43
3.	Fraccionamiento del nitrógeno absorbido por la planta expresado en porcentaje.....	46
4.	Fraccionamiento del nitrógeno absorbido por la planta expresado en kilogramos por hectárea.....	47
5.	Peso fresco y seco de nódulos de 10 plantas por cultivar cosechadas en el 50 % de floración.....	52
6.	Volumen y número de nódulos de 10 plantas por cultivar cosechadas en el 50 % de floración.....	52
7A.	Localización geográfica del área experimental.....	61
8A.	Unidad experimental y área del experimento.....	62
9A.	Diagrama de flujo de la toma de muestras y sub-muestras en el experimento.....	63

INDICE DE CUADROS

	PAGINA
1. Genealogía de los cultivares incluidos dentro de la investigación provenientes del Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento (ECAR), 1995	18
2. Cultivares evaluados en la investigación	24
3. Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento	26
4. Resultados promedios obtenidos por cada cultivar de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) para determinar su potencial de fijación biológico de nitrógeno utilizando como comparador no fijador de nitrógeno atmosférico la variedad de frijol no nodulante CIAT - 125.....	37
5. Valores promedio de nodulación obtenidos de 10 plantas de cada cultivar evaluado.....	38
6. Resumen de los resultados del análisis de varianza efectuado a cada variable respuesta.....	39
7. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta rendimiento de materia seca en kgs/ha.....	40
8. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta rendimiento de nitrógeno (kgs/ha).....	41
9. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta rendimiento de grano (kgs/ha).....	41
10. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta porcentaje de nitrógeno derivado del aire	44
11. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta porcentaje de nitrógeno derivado del suelo (%)	45

12.	Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante (%).....	45
13.	Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta nitrógeno derivado del aire (kgs/ha).....	48
14.	Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta peso fresco de nódulos (grs).....	50
15.	Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta peso seco de nódulos (grs).....	50
16.	Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta volumen de nódulos.....	51
17.	Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta número de nódulos.....	51
18A-22A.	Registro de datos obtenidos de las muestras y sub-muestras en campo y laboratorio.....	64
23A-27A.	Registro de datos obtenidos de los cultivos fijadores (frijol) y no fijadores de nitrógeno (frijol CIAT-125) para determinar su potencial de fijación biológico de nitrógeno.....	67
28A.	ANDEVA del rendimiento de materia seca (kgs/ha).....	70
29A.	ANDEVA del rendimiento de nitrógeno total (kgs/ha).....	70
30A.	ANDEVA para el nitrógeno derivado del aire (NDDA) expresado en porcentaje	70
31A.	ANDEVA para el nitrógeno derivado del aire (NDDA) expresado en kgs por ha	71
32A.	ANDEVA para el nitrógeno derivado del suelo (NDDS) expresado en porcentaje.....	71

33A. ANDEVA del nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF) expresado en porcentaje.....	71
34A. ANDEVA para el nitrógeno derivado del suelo (NDDS) expresado en kgs/ha.....	72
35A. ANDEVA del nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF) expresado en kgs/ha.....	72
36A. ANDEVA para el peso fresco de nódulos.....	72
37A. ANDEVA para el peso seco de nódulos.....	73
38A. ANDEVA para el volumen relativo de nódulos.....	73
39A. ANDEVA para el número de nódulos.....	73
40A. ANDEVA del rendimiento de grano en kgs/ha.....	74

"EVALUACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO USANDO ^{15}N COMO MARCADOR ISOTOPICO EN 15 CULTIVARES DE FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris* L.) PROVENIENTE DEL ENSAYO CENTROAMERICANO DE ADAPTACION Y RENDIMIENTO "

"ASSESSMENT OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION USING ^{15}N LABELED FERTILIZER, IN FIFTEEN BLACK BEANS CULTIVARS (*Phaseolus vulgaris* L.) FROM CENTROAMERICAN ASSAYS "

RESUMEN

Se evaluaron 15 cultivares de frijol seleccionados del Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento (ECAR) del Programa del Frijol del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas; con el objeto de determinar su fijación biológica de nitrógeno, para disponer de plantas en programas de mejoramiento tendientes a disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados.

La metodología consistió en un experimento utilizando el diseño de bloques al azar, se emplearon 5 bloques constituidos por unidades experimentales de 2.5 m de longitud y distanciados 0.50 m. Cada bloque tuvo un área bruta de 20.0 m² y un área neta de 12.0 m², sobre el cual se aplicó una solución de sulfato de amonio marcado con 4.93 % átomos en exceso (a.e.) de ^{15}N , en una dosis estándar de 20 kgs de N/ha. Las muestras marcadas con ^{15}N fueron cosechadas en el 50 % de floración. Posteriormente, fueron secadas a 70°C durante 72 horas, y se les aplicó la metodología de laboratorio Kjeldahl-Oxidación-Rittenberg para determinar la relación $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ a través de un espectrómetro de emisión tipo NOI-6E. El nitrógeno atmosférico fijado a la planta, se cuantificó usando las ecuaciones generadas por Danso y Hardarson (12), mediante el método de dilución isotópica del ^{15}N , usando como sistema no fijador de nitrógeno atmosférico, el frijol no nodulante CIAT-125.

Se concluyó que los cultivares difieren en su fijación biológica de nitrógeno, ya que los análisis de varianza para los parámetros nitrógeno derivado de la fijación atmosférica, rendimiento de nodulación, materia seca de la planta y rendimiento de grano mostraron

diferencias altamente significativas. El cultivar con la mayor fijación biológica de nitrógeno es la línea JU 93-7, la cual fijó 40.85 % del nitrógeno total absorbido por la planta, equivalentes a una fijación de 16.51 kgs de N/ha, mientras que los cultivares ICTA JU 90-7 y JU 93-1 presentaron valores de 17.84 y 17.37 % respectivamente. El resto de los cultivares, incluyendo el testigo local (ICTA San Martín), presentaron una fijación biológica similar. En cuanto a la cantidad de nitrógeno derivado del suelo y del fertilizante, los cultivares mostraron la misma capacidad de absorber el nitrógeno de estas dos fuentes. El mayor rendimiento de grano, lo reportó el testigo local, sin embargo, debido a que su fijación biológica de nitrógeno no mostró ser superior, la línea JU 93-7 se perfila óptima para ser utilizada en programas de mejoramiento tendientes a mejorarle esta característica. El rendimiento de nodulación reveló diferencias altamente significativas, demostrando que los cultivares tienen diferente capacidad de nodular y por ende de fijar el nitrógeno atmosférico, presentando los valores más altos los cultivares JU 93-7, DOR 454, ICTA San Martín y JU 93-5.

1. INTRODUCCION

El cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.), dentro del contexto nacional es de gran importancia en la dieta diaria del guatemalteco, ya que según Basan y Bliss citados por Chonay (6), proporciona el 33% de la proteína diaria consumida y se le considera como una fuente no solo esencial, sino complementaria de proteínas y calorías. Una de las características más importantes de este cultivo es su capacidad de asociarse simbioticamente con bacterias del género Rhizobium. Como producto de ésta simbiosis, la planta recibe un aporte significativo de nitrógeno proveniente de la atmósfera. Por lo tanto, por poseer una fijación biológica eficaz de nitrógeno, esta leguminosa puede cultivarse sin recurrir a los fertilizantes nitrogenados (12).

En nuestro medio este cultivo es sembrado en su mayor proporción por pequeños agricultores a los cuales cada día se les hace más difícil y costosa la adquisición de fertilizantes nitrogenados. Así, el descubrir cuales cultivares son los que tienen mayormente desarrollada esta capacidad es la meta de muchas investigaciones con lo cual obtendremos plantas que puedan ser utilizadas en programas de mejoramiento genético para finalmente obtener un ahorro sustancial de fertilizantes nitrogenados. Con esto, además de hacerle más rentable el cultivo al pequeño agricultor estaríamos reduciendo el daño que causa el uso excesivo de estos fertilizantes al ambiente en general.

Con la presente investigación se cuantificó el nitrógeno proveniente de la fijación biológica en 15 cultivares de frijol (Phaseolus vulgaris L.) incluyendo un testigo local. Estos cultivares provienen de uno de los Ensayos Centroamericanos de Adaptación y Rendimiento (ECAR) de frijol de grano negro del Programa del Frijol del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) cuya finalidad es seleccionar líneas con altos rendimientos, mayor adaptación, resistentes

a factores adversos y alto potencial de utilizar el nitrógeno fijado biológicamente por Rhizobium.

La investigación se realizó bajo las condiciones del centro de producción agrícola del ICTA localizado en la aldea La Alameda, Chimaltenango

Para cuantificar el nitrógeno proveniente de la fijación biológica se empleó la técnica de Dilución Isotópica del ^{15}N , y para ello la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN) proporcionó el apoyo necesario brindando tanto el fertilizante marcado con el isótopo ^{15}N , como el análisis de las plantas marcadas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a que el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.), es una de las leguminosas que ocupa un lugar importante en la alimentación básica de la población guatemalteca, por su alto contenido de proteína y aminoácidos esenciales (lisina y triptófano), y atendiendo a la situación nacional, en donde cada día es más difícil y costosa la adquisición de fertilizantes nitrogenados, se realizó la presente investigación, buscando las formas de economizar la aplicación de éste. El frijol, a través de la simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico del género Rhizobium, puede fijar directamente el mismo, por lo que, del manejo adecuado de dicho proceso, se puede obtener un ahorro sustancial de fertilizantes nitrogenados.

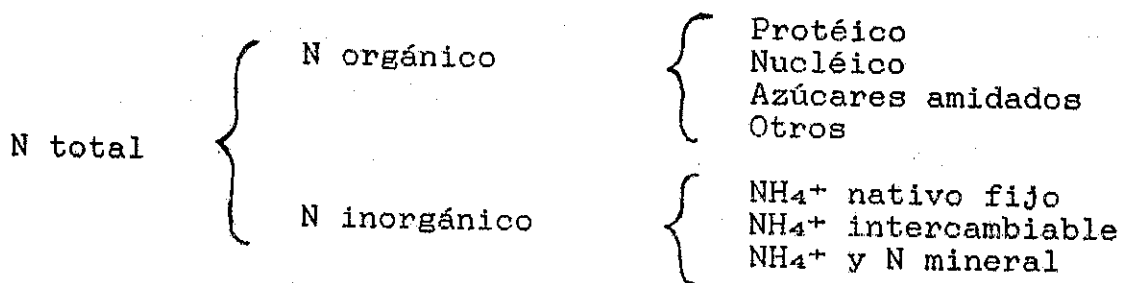
Por lo anteriormente expuesto, el propósito fundamental de la presente investigación fue la búsqueda de cultivares de frijol con un alto potencial de utilizar el nitrógeno proveniente de la fijación bacteriana, que puedan ser utilizados en programas de mejoramiento genético, y que a su vez se traduzca en: reducir costos de producción, hacer más rentable el cultivo y preservar el medio ambiente.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL.

3.1.1. Formas del nitrógeno en el suelo:

Segun Fassbender (7), el contenido de nitrógeno para la capa arable del suelo se presenta en el rango de 0.2 y 0.7 %, este porcentaje disminuye al aumentar la profundidad del perfil. El clima influye también en el nitrógeno del suelo, ya que al disminuir la temperatura y aumentar la precipitación, el contenido de nitrógeno total tiende a incrementarse. Este mismo autor esquematiza las formas del nitrógeno en el suelo así:



El nitrógeno orgánico representa entre 85 y 95 % del nitrógeno total y de esto, el 20 y 40 % de nitrógeno se representa en forma de aminoácidos. El nitrógeno inorgánico se encuentra en el rango de 5 y 15 %. Por lo general el nitrógeno intercambiable (N-NH₄⁺) no supera el 2 % del nitrógeno total, en forma inorgánica se presenta como óxido nitroso (N₂O), óxido nítrico (NO), dióxido (NO₂), Amoníaco (NH₃), Amonio (NH₄⁺), Nitritos (NO₂⁻) y nitratos (NO₃⁻) (7).

3.1.2. Procesos de asimilación del nitrógeno.

Bartholomew (3), nos indica que los procesos de absorción y uso del nitrógeno por las plantas son básicamente biológicos. Diversos trabajos han demostrado que la asimilación por la planta es más o menos el 50 % del nitrógeno soluble, ó del llamado también "nitrógeno disponible". Mas aún el nitrógeno proveniente de los procesos naturales no ha sido

utilizado más eficientemente que el añadido como fertilizante, debido a que los procesos de asimilación de la planta no son totalmente eficientes y porque parte del nitrógeno puede liberarse del sistema del suelo. Según el mismo autor, las plantas asimilan el nitrógeno durante toda la época de vegetación, sin embargo, una asimilación fuerte tiene lugar en el período en que crecen vigorosamente en especial cuando han alcanzado una altura de 15 a 20 cms; lo cual se sitúa entre los 50 a 80 días después de la siembra.

Fassbender (7), menciona que el nitrógeno es absorbido como ión NH_4^+ ó NO_3^- y dependiendo del pH del suelo así será la absorción de cada uno de ellos, pues a pH menor a 6 la forma NO_3^- es mayormente absorbida; a pH 6.5 pero menor de 7.5 la forma NO_3^- vuelve a ser de mayor demanda.

3.1.3. Procesos de abastecimiento de nitrógeno.

Bartholomew (3), indica que las plantas pueden abastecerse de nitrógeno mediante los siguientes procesos:

- a. La conversión del nitrógeno de la materia orgánica en formas inorgánicas mediante el proceso de mineralización.
- b. La conversión del nitrógeno inorgánico en nitrógeno orgánico, por el proceso de inmovilización, a través de la descomposición de desechos de plantas y animales y de la materia orgánica.
- c. La fijación de nitrógeno de la atmósfera principalmente a través de procesos biológicos.
- d. El nitrógeno añadido a través de precipitaciones pluviales.
- e. Liberación de nitrógeno a través de la meteorización de los minerales primarios del suelo.
- f. La fertilización nitrogenada mediante fertilizantes químicos.

3.1.4. Fijación simbiótica de nitrógeno Rhizobium-leguminosa.

Las leguminosas han sido usadas a través de los siglos, desde tiempos de Jacob (Génesis 25,34) hasta la actualidad; en todo éste proceso histórico a las leguminosas les han acompañado el grupo bacteriano Rhizobium, con el cual se asocia simbioticamente a fin de fijar el nitrógeno atmosférico necesario para ambos organismos (12).

Es hasta 1866 cuando Hellriegel y Wilfarth demuestran que las leguminosas noduladas no requieren de nitrógeno en forma combinada. Para esa misma época Beijerinck aísla el microsimbote y lo usa para reinocular y nodular a *Vicia faba*. Nobbe y Hiltner en 1896 introdujeron un proceso de inoculación usando un cultivo puro de Rhizobium, creciendo sobre gelatina. Posteriormente se usaron diferentes sistemas de inoculación, caldos, suelo estéril impregnado, para finalmente usar turba como soporte (8).

3.1.5. Descripción del género Rhizobium:

Frank (1889) citado por Ferrera (8) indica que el género Rhizobium se define como el grupo de bacterias con capacidad de producir nódulos en la raíz de los miembros de la familia leguminosae. Son bacilos Gram-negativos de 0.5-0.9 micras x 1.3 -3 micras, presentándose solos ó en pares generalmente móviles debido a la presencia de flagelos periticos, polares ó subpolares.

3.1.6. Formación de nódulos:

Segun Dazzo y colaboradores, citados por Ferrera (8), las bacterias en la rizósfera de las leguminosas sufren un estímulo radicular multiplicándose, y penetrando por los pelos radiculares. Los pelos radiculares segregan triptófano que es oxidado por las bacterias a ácido Indol-acético (AIA). Esta auxina y una fracción dializable de

Rhizobium, están involucradas en la deformación de los pelos radiculares hinchándose en forma de "cayado de pastor", en donde aparentemente hay una secreción de polisacáridos bacterianos, seguido de una inducción de enzimas del tipo de las pectinasas por la raíz, originándose un filamento de infección conteniendo bacterias, dividiéndose y penetrando hasta alcanzar las células de la corteza por invaginaciones sucesivas con posible liberación de compuestos parecidos a las citocininas. En los nódulos reside la nitrogenasa, enzima responsable de la fijación de nitrógeno molecular, recibiendo el aporte energético en forma de trifosfato de adenosina (A.T.P.) y derivado del metabolismo de los carbohidratos provenientes de la actividad fotosintética.

3.1.7. Métodos para la determinación cuantitativa de la fijación biológica de nitrógeno:

Una de las mayores limitaciones en los estudios sobre la fijación biológica de nitrógeno ha sido la escasez de métodos adecuados para cuantificar dicho proceso. Diversos métodos de medición se han desarrollado; sin embargo ninguno puede ser considerado como eficiente. En general, los métodos de medición pueden agruparse en 3 clases:

- 1.- Método de la diferencia entre los rendimientos de nitrógeno de un sistema fijador y de otro no fijador.
- 2.- Método de la reducción de acetileno.
- 3.- Métodos ó técnicas isotópicas.

El tercero de los métodos permite efectuar estimaciones directas y precisas respecto a la cuantificación de la fijación de nitrógeno y se basa en el uso del ^{15}N en el campo ó invernadero (25).

3.1.8. Isótopos del Nitrógeno:

Según Axmann y Zapata (2) se conocen diversos isótopos radiactivos

y estables del nitrógeno, con números de masa que fluctúan entre 12 y 17. Los isótopos radiactivos del nitrógeno poseen un período de semidesintegración muy corto, lo cual limita su aplicación en la investigación agrícola. Por otra parte, el nitrógeno es importante en la investigación biológica debido a sus dos isótopos estables, el ^{15}N , con una abundancia natural de 0.366 % y el ^{14}N con una abundancia de 99.634 %, el isótopo más pesado es el ^{15}N debido a que sus átomos poseen un mayor número de masa, por lo que suele utilizarse como trazador en sistemas biológicos. La relación más ó menos constante de $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ en la atmósfera ó en sustancias naturales permite que los materiales de nitrógeno artificialmente enriquecidos ó empobrecidos con ^{15}N , se utilicen como trazadores. Así, la composición isotópica estable ó sea la relación del isótopo ligero (^{14}N) e isótopo pesado (^{15}N) de cierto material biológico puede medirse por medio de espectrometría de emisión óptica. Las cantidades de ^{15}N en una muestra se expresan en porcentaje (%) de átomos en exceso de la abundancia natural.

3.1.9. Uso de técnicas trazadoras con ^{15}N para la determinación cuantitativa de la fijación simbiótica de nitrógeno por leguminosas:

Esta técnica incluye añadir una fuente de nitrógeno marcado con ^{15}N tanto a un sistema fijador como a un sistema no fijador de nitrógeno atmosférico. La medición de la fijación se basa en la dilución del nitrógeno marcado absorbido por el sistema fijador (leguminosa) a partir del suelo y la fuente marcada, debido a la fijación de nitrógeno atmosférico sin marcar (25). El sistema no fijador (cultivo de referencia) servirá para determinar la composición isotópica del nitrógeno absorbido a partir del suelo y la fuente marcada, sin dilución por el nitrógeno atmosférico. La determinación cuantitativa de la fijación depende en gran escala del uso de un adecuado cultivo de

referencia. El cultivo de referencia debe ser lo más similar posible a la leguminosa de interés, con excepción del proceso de fijación.

Algunas de las características utilizadas como criterio en la selección del cultivo de referencia son:

- * La profundidad radicular debe ser similar para obtener todo el nitrógeno de la misma zona del suelo.
- * El cultivo de referencia no debe fijar nitrógeno por sí mismo y debe tener una altura y adaptación climática similar (12).

Se han utilizado con éxito los cultivos de referencia siguientes:

- * Un cultivo no-leguminoso que no fije nitrógeno (trigo ó sorgo).
- * Una planta leguminosa que no nodule.
- * Una leguminosa resistente a la nodulación por el Rhizobium .
- * Una planta leguminosa no inoculada en suelos desprovistos de las cepas adecuadas de Rhizobium .
- * Una leguminosa fertilizada con altas dosis de nitrógeno para reducir por completo la fijación (25).

El principio básico de ésta técnica es el concepto del valor A, que indica que "cuando una planta dispone de 2 ó más fuentes de un nutriente, ella tomará dicho nutriente a partir de cada fuente en proporción directa a sus cantidades disponibles." Además se asume que el aporte del nitrógeno fijado (fuente de nitrógeno no marcada) no cambia la relación entre nitrógeno del suelo (^{14}N) y nitrógeno del fertilizante marcado (^{15}N), lo que, en otras palabras, indica que dichas fuentes de nitrógeno son absorbidas a partir del suelo por el sistema fijador y no fijador en la misma proporción $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ (25).

3.1.10. Investigaciones usando la técnica del ^{15}N en fijación biológica de Nitrógeno (F.B.N.).

De acuerdo a Hardarson y Danso (12), la primera aplicación del ^{15}N

en los estudios de la fijación de N la hicieron Burris y Miller en 1941. Los mismos autores indican que este método se ha utilizado para demostrar de manera directa la fijación de N ya que, si ocurre fijación, la concentración de ^{15}N en las plantas expuestas al ^{15}N supera la abundancia natural de 0.3663 por ciento. El nivel de ^{15}N que se detecta en la planta ofrece una estimación de la proporción de nitrógeno que ha absorbido la planta mediante la fijación y es, por tanto, un método directo para cuantificar el N fijado.

Aguilera y Rodas (1), evaluaron el potencial de fijación de nitrógeno de 20 líneas preseleccionadas de frijol (Phaseolus vulgaris L.) mediante la técnica del ^{15}N . Las líneas evaluadas fueron producto de una preselección del vivero de adaptación de negros 1984 del CIAT. Se tomaron datos de nodulación, así como peso de materia seca de plantas, porcentaje de nitrógeno total y porcentaje de átomos de absorción de ^{15}N . Los datos obtenidos, mostraron que de las 20 líneas, 3 de ellas consiguieron valores aceptables de fijación, comparadas con plantas testigos de arroz (cultivo de referencia) que van desde 40 % al 50 % del nitrógeno total utilizado. Los materiales se identifican con los números 177, 77 y 18. Las líneas 18 y 77 tienen dentro de sus progenitores variedades de frijol nativo de Guatemala como lo son Cuilapa 72 e ICTA Jutiapan respectivamente.

Estudios relacionados al crecimiento, fijación biológica del nitrógeno (FBN) y rendimiento del grano del frijol común fueron conducidos por Rosas, Robleto y Varela (19), en el Zamorano, Honduras, en un lote marcado con ^{15}N y con un manejo consistente en inoculación con Rhizobium phaseoli, fertilización sin nitrógeno, y uso de las líneas "Clark" y frijol NOD 125 no noduladores como cultivo de

referencia. Fueron tomadas las variables respuestas de porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, mg de N total, mg de N fijado, peso seco aéreo, rendimiento de grano por parcela y rendimiento diferencial. Según éstos estudios, la FBN y rendimiento del frijol común son factibles de ser mejorados si se practica una buena selección de los progenitores, se utilizan métodos de cruzamiento y selección apropiados, y se da un buen manejo de los factores que afectan el comportamiento de las plantas a nivel de campo.

Experimentos de campo fueron llevados acabo en Australia, Brazil, Chile, Colombia, México, Perú y los Estados Unidos de Norte América como parte de un programa de investigación coordinado con FAO/IAEA sobre el potencial de fijación de nitrógeno de cultivares de frijol común (Phaseolus vulgaris L.). Cada experimento incluyó por lo menos 10 genotipos los cuales fueron comparados usando el método de dilución isotópica del ^{15}N . Grandes diferencias en la fijación de nitrógeno fueron observadas en los diferentes experimentos, con valores medios de 35 % de nitrógeno derivado de la atmósfera (NDDA) y los valores más altos corresponden a 65 % de NDDA, los cuales son valores muy altos de los que previamente se habían reportado para el frijol común. Valores superiores semejantes para la fijación fueron observados solo cuando los factores ambientales fueron favorables. Estos genotipos podrían ser utilizados en programas de mejoramiento para inducir el aumento de la fijación simbiótica de nitrógeno en otros cultivares (13).

Sanabria (21), reporta en Guatemala dos ensayos de campo para determinar la fijación biológica de nitrógeno (FBN) de 20 cultivares de frijol común mediante la técnica de dilución isotópica del ^{15}N . De estos dos ensayos los valores más altos para el % de Nitrógeno derivado

del aire (%NDDA) y el total de nitrógeno fijado fueron obtenidos de 10 líneas de frijol cultivadas en el verano de 1989. El rango para el NDDA fue de 69 a 73 % y para el total de NDDA, de 92 a 125 Kg/ha. Las mejores líneas comerciales para el %NDDA y total de nitrógeno fijado fueron ICTA San Martín, ICTA Parramos e ICTA Quinack-ché. Los valores medios para el %NDDA y total de nitrógeno fijado fueron considerablemente bajos para las otras 10 líneas de frijol evaluadas en el invierno del mismo año, en el que se observó un rango de 22 a 57 por ciento de NDDA y para el total de NDDA de 12 a 42 Kg/ha, siendo el cultivar CU 85-15 la que mayor porcentaje de nitrógeno derivó del aire.

Safo (20), realizó un estudio para evaluar la fijación simbiótica efectiva de 5 cepas de Rhizobium leguminosarum (CIAT 144, CIAT 166, CIAT 652, CIAT 899 y Sweden 458) en 2 cultivares de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) usando el método de dilución isotópica del ^{15}N . Como fuente de nitrógeno utilizó $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, aplicando 20 mg de nitrógeno por kilogramo de suelo. Los dos cultivares de frijol (Rondina y Stella) mostraron diferencias en su rendimiento de materia seca, además de su habilidad de fijar nitrógeno con los diferentes tratamientos de Rhizobium. El porcentaje de nitrógeno derivado de la atmósfera (%NDDA) promedio fue de 47.6 para Rondina y 54.3 % para todas las cepas de Rhizobium.

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. Características de los materiales experimentales.

3.2.1.1. Ensayos Centroamericanos de Adaptación y Rendimiento (ECAR) de frijol negro.

Los Ensayos Centroamericanos de Adaptación y Rendimiento (ECAR) de frijol están formados por materiales propuestos por los programas

nacionales de los países que conforman la red PROFRIJOL (Programa cooperativo regional del frijol para C.A., México y el Caribe) (17).

La finalidad del ECAR es seleccionar líneas con alto rendimiento, mayor adaptación, resistencia a factores adversos y alto potencial de fijación biológica de nitrógeno (17). Así, para el año de 1994, el ECAR de grano negro realizado en Jutiapa (Sur-oriente de Guatemala) mostró que 7 materiales fueron estadísticamente iguales en rendimiento entre los que se encuentran las variedades comerciales ICTA-Costeña e ICTA Ostúa. Otras líneas que se ubicaron dentro de este grupo son: JU 93-1, DOR 453, DOR 445 y JU 93-4. El rendimiento más alto fue para la línea DOR 454 (1875 kg/ha), y el más bajo para los cultivares ICTA-Achuapa y JU 93-7. Como producto de este ensayo la recomendación es seleccionar las líneas de grano negro DOR 454 y JU 93-1 para evaluarlas en mayor número de ambientes (17).

3.2.1.2. Cultivares de frijol evaluados:

Estos cultivares se presentan sintéticamente en el cuadro 1 y poseen las siguientes características relevantes:

Cultivar 1 ICTA-Costeña:

Posee un color de grano negro opaco, su hábito de crecimiento es indeterminado arbustivo, altura de planta entre 50 y 60 cms, color de la flor morada, color de vaina crema, su floración inicia entre los 35 a 37 días después de la siembra, la longitud de sus vainas es de 9 cms, es resistente a Mosaico Dorado, su rendimiento alcanza los 1948 kg/ha, se adapta entre los 50 a 1200 msnm y su cosecha se realiza entre los 80 a 85 días después de la siembra (11). Este cultivar proviene del Programa de frijol ICTA-GUATEMALA y es producto de la cruce (DOR 384 x G18521) x (DOR 365 x L.M. 30630) (17).

Cultivar 2 Dor 453:

Es un cultivar proveniente del programa CIAT-GUATEMALA, producto de las cruces entre las líneas (DOR 364 x G18521) x (DOR 365 x L.M. 30630), es uno de los cultivares que alcanzaron los mayores rendimientos del ECAR evaluado en Jutiapa en 1994, con rendimiento de 1550 kg/ha y una madurez fisiológica de 64.7 días después de la siembra (17).

Cultivar 3 Dor 454:

Cultivar producto de la línea DR 14564-9-CM-CM-CM, proveniente del programa de frijol CIAT-GUATEMALA. Este cultivar reporta el valor más alto en rendimiento (1875 kg/ha), en el ECAR realizado en Jutiapa en 1994, el cual incluyó la evaluación de 16 materiales genéticos; además, posee una madurez fisiológica de 64 días después de la siembra (17).

Cultivar 4 JU 93-1:

Cultivar proveniente del programa ICTA-GUATEMALA, producto del cruce entre las líneas (APN 92) x (C324-13-1-CM(3)). Orellana (17), lo reporta junto con el cultivar DOR 454 como el de mayor rendimiento (1784 kg/ha) en el ECAR evaluado en Jutiapa en 1994. Su madurez fisiológica se presenta a los 65.7 días después de la siembra.

Cultivar 5 JU 93-7:

Las características notables comparadas con otros cultivares son su bajo rendimiento (1235 kg/ha) y su madurez fisiológica tardía de 66.3 días después de la siembra, características evaluadas del ECAR en Jutiapa en el año de 1994. Proviene de la cruce entre los cultivares (ICTA-Ostúa) x (C 332-1) creado por el programa de frijol ICTA-GUATEMALA (17).

Cultivar 6 JU 93-4:

En el ECAR de 1994, evaluado en Jutiapa, mostró ser uno de los 7 cultivares con mayores rendimientos (1504 kg/ha) y con una madurez fisiológica de 63 días después de la siembra. Es proveniente de la cruce entre las líneas (C332-6) x (C332-1) del programa de frijol ICTA-GUATEMALA (17).

Cultivar 7 ICTA-Achuapa:

Posee un color de grano negro opaco, su hábito de crecimiento es indeterminado arbustivo, altura de la planta entre los 40 a 50 cms, el color de la flor es morada, su período de floración se ubica entre los 30 a 32 días después de la siembra, la longitud de su vaina es de 9 cms. Es un cultivar medianamente resistente al mosaico dorado, con rendimientos de hasta 1428 kg/ha dependiendo de las condiciones ambientales y del manejo agronómico. Se adapta de los 200 a 1000 msnm y su cosecha se da entre los 65 a 70 días después de la siembra (11). Es un cultivar comercial, producto del cruce entre las líneas ICTA 82-13 x Garrapato, proveniente del programa de frijol ICTA-GUATEMALA (16).

Cultivar 8 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 cms, color de la flor morada, color de vaina crema, florea entre los 35 a 37 días después de la siembra, la longitud de sus vainas es de 9 cms, es medianamente resistente al Mosaico Dorado, su rendimiento alcanza los 1948 kg/ha, y, se adapta entre los 50 a 1200 msnm (11). Este cultivar es producto de las cruces entre las líneas (DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x L.M. 30630) y proviene del programa de frijol ICTA-GUATEMALA (17).

Cultivar 9 ICTA-Chapina:

Cultivar comercial, producto de la cruce entre los cultivares A 429 x XAN 112; sus características principales son su resistencia a mosaico dorado, su arquitectura y su rendimiento (17). Posee un color de grano negro opaco, su hábito de crecimiento es indeterminado arbustivo, altura de planta entre 50 y 70 cms, color de la flor morada, color de vaina crema, su floración inicia entre los 35 a 37 días después de la siembra, la longitud de sus vainas es de 8 cms, su rendimiento alcanza los 1948 kg/ha, se adapta entre los 50 a 1200 msnm y su cosecha se realiza entre los 80 a 85 días después de la siembra (11).

Cultivar 10 DOR 418:

Es una línea que posee un rendimiento promedio de 1315 kg/ha y su madurez fisiológica se presenta a los 64 días después de la siembra. Proviene del programa de frijol CIAT-GUATEMALA y es producto del cruce (DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x L.M.30630), estadísticamente su rendimiento se considera bajo (17).

Cultivar 11 ICTA JU 93-5:

Línea creada por el programa CIAT-GUATEMALA con un rendimiento promedio de 1426 kg/ha y con una madurez fisiológica que se presenta a los 64.3 días después de la siembra. Es producto de la cruce entre las línea Turbo 1 x C1015-M-70-M-M (17).

Cultivar 12 ICTA JU 90-7:

Esta línea posee un rendimiento promedio de 1422 kg/ha y su madurez fisiológica se da a los 63 días después de la siembra. Proviene del programa de frijol ICTA-GUATEMALA y es producto del cruce entre las líneas A429 x XAN 112 (17).

Cultivar 13 DOR 500:

Esta línea alcanza su madurez fisiológica a los 63.7 días después de la siembra y reporta un rendimiento promedio de 1336 kg/ha. Fue creada mediante la cruce de las líneas (DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x L.M.30630) por medio del programa de frijol CIAT-GUATEMALA (17).

Cultivar 14 DOR 445:

Esta línea mostró ser la de menor número de días a la madurez fisiológica (62 días después de la siembra) de 16 cultivares evaluados en el ECAR de Jutiapa durante 1994; además, mostró ser uno de los 7 cultivares con mayor rendimiento (1531 kg/ha). Este cultivar proviene del programa de frijol CIAT-GUATEMALA y es producto de la cruce entre las líneas (DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x L.M.30630) (17).

Cultivar 15 TESTIGO LOCAL: ICTA-San Martín:

Es una variedad de grano negro que crece como arbusto. Su altura de planta está entre 55 y 70 centímetros, su floración se inicia de 40 a 48 días después de la siembra y se cosecha de los 90 a 105 días. Su adaptación está comprendida entre los 1500 a 2000 metros sobre el nivel del mar. Tiene un rendimiento aproximado de 1558.44 kilogramos por hectárea (9).

Sanabria (21), en ensayos de campo realizados en el altiplano central de Guatemala, nos indica que este cultivar comercial tiene un alto potencial de fijación biológica de nitrógeno comparado con otros cultivares, presentando un 70.40 % de nitrógeno derivado de la atmósfera (%NDDA) y 105.0 kg/ha de nitrógeno total fijado.

CUADRO 1. Genealogía de los cultivares incluidos dentro de la investigación provenientes del Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento (ECAR), 1995.

No.	IDENTIFICACION	PROGRAMA	PADRES
1.	ICTA-Costeña	ICTA-GUATE	(DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x L.M. 30630)
2.	DOR 453	CIAT-GUATE	(DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x LM 30630)
3.	DOR 454	CIAT-GUATE	DR 14564-9-CM-CM-CM
4.	JU 93-1	ICTA-GUATE	APN 92 x C324-13-1-CM(3)
5.	JU 93-7	ICTA-GUATE	ICTA-Ostúa x C 332-1
6.	JU 93-4	ICTA-GUATE	C 332-6 x C 332-1
7.	ICTA-Achuapa	ICTA-GUATE	ICTA 82-13 x GARRAPATO
8.	ICTA-Santa Gertrudis	ICTA-GUATE	(DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x LM 30630)
9.	ICTA-Chapina	ICTA-GUATE	A 429 x XAN 112
10.	DOR 448	CIAT-GUATE	(DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x LM 30630)
11.	ICTA JU 93-5	CIAT-GUATE	TURBO 1 x C1015-M-70-M-M
12.	ICTA JU 90-7	ICTA-GUATE	A 429 x XAN 112
13.	DOR 500	CIAT-GUATE	(DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x LM 30630)
14.	DOR 445	CIAT-GUATE	(DOR 364 x G 18521) x (DOR 365 x LM 30630)
15.	T.L.		

T.L. = TESTIGO LOCAL, la variedad comercialmente más usada en el Altiplano Central de Guatemala (ICTA-San Martín).

3.2.1.3. Cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli.

a. Cepa CIAT - 632:

Obtenida por Rolando Aguilera, proveniente de Guatemala, identificada como la raza 21 en el año de 1974. Se le realizaron repetidas pruebas para determinar su respuesta simbiótica de 1974 a 1979. Resultó ser altamente efectiva, ésta cepa fue incluida en las Pruebas Internacionales de Inoculación del Frijol (International Bean Inoculation Trial, IBIT); en el año de 1979 (4).

b. Cepa CIAT - 57:

Obtenida en la Universidad de Sydney como la cepa CC511 en 1971. Se le realizaron repetidas pruebas para observar su respuesta simbiótica entre los años de 1972 y 1979. Esta cepa fue incluida en el IBIT entre 1979 y 1980 (4).

c. Cepa CIAT - 151:

Aislada como la cepa Z-127 cerca de Medellín, Colombia, en 1972. Las últimas pruebas para determinar su infectividad se realizaron en 1979, probando ser una cepa efectiva (4).

3.2.1.4. Cultivo de referencia:

a. Frijol no nodulante variedad CIAT-125.

Es una mutación de frijol, creada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el cual tiene la característica de que no presenta nódulos, por lo tanto no realiza fijación biológica de nitrógeno. Fue utilizada con éxito por Rosas, Robleto y Varela en estudios relacionados al crecimiento, fijación biológica del nitrógeno y rendimiento del grano de frijol común, en un lote marcado con N-15 en el Zamorano, Honduras; obteniendo muy buenos resultados como cultivo de referencia. (19).

3.2.2. Localización y descripción del área experimental:

3.2.2.1. Ubicación geográfica:

El presente estudio se llevó a cabo en el centro de producción del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, localizado en el altiplano central de Guatemala, en la aldea La Alameda, a 3.5 kilómetros de la cabecera departamental de Chimaltenango. Sus coordenadas geográficas son 14°39'38" Latitud Norte y 90°49'10" Longitud Oeste (figura 7A).

3.2.2.2. Condiciones climáticas:

Según el sistema de clasificación de las zonas de vida de Holdridge (14), la región donde se ubica el área experimental corresponde a la zona ecológica Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical. La altitud es de 1800 metros sobre el nivel del mar, y según registros meteorológicos (10), posee una precipitación pluvial media anual de 1600 milímetros, la humedad relativa media es del 80 % y una temperatura media anual de 18°C.

3.2.2.3. Condiciones edáficas:

Según la clasificación de Simmons (23), los suelos del centro de producción del altiplano central del ICTA, corresponden a la serie de suelos Tecpán, los cuales se caracterizan por ser suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino. Su relieve es casi plano (declive dominante de 1 a 5 %) a ondulado. El suelo superficial es de un espesor aproximado de 30 a 50 cms, su color es café oscuro, con textura franco-arenosa y consistencia friable. El subsuelo es de un espesor aproximado de 50 a 100 cms, su color es café amarillento, su textura es franco arcillosa y tiene una consistencia friable. La fertilidad natural de estos suelos es regular. El contenido de materia orgánica es bajo (2 %). La

reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH al rededor de 6.0.

3.2.2.4. Cantidad de nutrientes en el suelo:

Según los análisis del suelo provenientes del área experimental, efectuados en el laboratorio de suelos del ICTA (los cuales se presentan en el apendice), mostraron en promedio las siguientes características:

- Materia Orgánica	=	3.69 %
- pH	=	6.0
- N	=	0.14 %
- Fósforo	=	17.33 microgramos/ml.
- Potasio	=	169.0 microgramos/ml.
- Calcio	=	5.42 meq/100 ml de suelo.
- Magnesio	=	0.89 meq/100 ml de suelo.

Observando los niveles críticos, así como los requerimientos nutricionales para el cultivo del frijol, existió la necesidad de aplicar fertilizantes nitrogenados, fosfóricos y potásicos incluidos en el programa de fertilización que se presenta más adelante.

4. OBJETIVO

Cuantificar la fijación biológica de nitrógeno atmosférico en 15 cultivares de frijol negro (Phaseolus vulgaris L.) provenientes del Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento .

5. HIPOTESIS

Los cultivares de frijol a evaluar difieren estadísticamente en su potencial de utilización de la fijación biológica de nitrógeno atmosférico efectuada por Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli.

6. METODOLOGIA

6.1. MATERIAL Y EQUIPO.

6.1.1. Material:

- Semilla de frijol.
- Semilla de frijol no nodulante variedad CIAT-125.
- Cepas de Rhizobium leguminosarum viobar phaseoli: CIAT-632, CIAT-57 y CIAT-151.
- Fertilizante sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ marcado con 4.93 % de átomos en exceso (a.e.) de ^{15}N .
- Fertilizante triple superfosfato (46 % P_2O_5).
- Fertilizante muriato de potasio (60 % K_2O).
- Pesticidas para el control de plagas y enfermedades.
- Bolsas plásticas.
- Reactivos de laboratorio para el método Kjeldahl-Oxidación Rittenberg.

6.1.2. Equipo:

- Balanza analítica y granataria.
- Horno con aire circulante.
- Molino.
- Tamiz de 1 mm ó 40 mesh.
- Equipo Kjeldahl.
- Espectrómetro de emisión.
- Vehículo para el traslado de las muestras.

6.2. METODOS.

6.2.1. Material Experimental.

a. Semilla de frijol:

Se evaluaron 14 cultivares de frijol y un testigo local (la variedad comercial más usada en el altiplano central de Guatemala), estos cultivares provinieron de uno de los Ensayos Centroamericanos de Adaptación y Rendimiento (ECAR), previamente seleccionados por el Programa del Frijol del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Estos cultivares fueron los siguientes:

CUADRO 2. Cultivares evaluados en la investigación.

No.	Cultivar	No.	Cultivar
1	ICTA Costeña	10	DOR 448
2	DOR 453	11	ICTA JU 93-5
3	DOR 454	12	ICTA JU 90-7
4	JU 93-1	13	DOR 500
5	JU 93-7	14	DOR 445
6	JU 93-4	15	TESTIGO LOCAL
7	ICTA Achuapa		
8	ICTA Sta. Gertrudis		
9	ICTA Chapina		

TESTIGO LOCAL = ICTA San Martín.

b. Cultivo no fijador de nitrógeno atmosférico:

Se utilizó la variedad de frijol CIAT-125, la cual fue proporcionada por el CIAT, a través de solicitud enviada por la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN), a esa institución. La variedad CIAT-125 es un mutante de frijol que no tiene la capacidad genética de ser nodulada por el Rhizobium.

c. Inoculante aplicado:

El inoculante utilizado en el experimento fue una mezcla de las cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli, identificadas como CIAT-632, CIAT-57 y CIAT-151, esta mezcla fue aplicada a todo el material de frijol.

d. Fertilizante nitrogenado:

En el experimento se utilizó como fuente de nitrógeno el fertilizante sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ marcado con 4.93 % de átomos en exceso (a.e.) de ^{15}N , esta fuente fue proporcionada por Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), través de la Dirección General de Energía Nuclear de Guatemala (DGEN).

6.2.2. Diseño Experimental:

La investigación consistió en evaluar un experimento isotópico, utilizando para ello el diseño de bloques completamente al Azar.

El experimento sirvió para cuantificar el potencial de fijación biológica de nitrógeno de los 15 cultivares de frijol por medio de la técnica de dilución isotópica utilizando ^{15}N , para lo cual se emplearon de referencia parcelas de la variedad de frijol no nodulante CIAT-125. El experimento consistió de 5 repeticiones, incluyendo una parcela de referencia por repetición, lo cual hizo un total de 80 unidades experimentales (figura 8A).

6.2.3. Tratamientos:

Los tratamientos consistieron en comparar los rendimientos de nodulación, peso de materia seca, nitrógeno total y nitrógeno fijado de los cultivares de frijol incluidos en el experimento, usando como testigo no fijador de nitrógeno la variedad de frijol no nodulante CIAT-

125.

En el cuadro siguiente se detallan los tratamientos empleados.

CUADRO 3. Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento.

Cultivar (Tratamiento)	Fertilizante nitrogenado	Fertilizante no nitrogenado	Inoculantes
1. ICTA-Costeña 2. DOR 453 3. DOR 454 4. JU 93-1 5. JU 93-7 6. JU 93-4 7. ICTA-Achuapa 8. ICTA-Santa Gertrudis. 9. ICTA-Chapina 10. DOR 448 11. ICTA JU 93-5 12. ICTA JU 90-7 13. DOR 500 14. DOR 445 15. ICTA-San Martín.	95.24 Kg/ha Sulfato de Amonio. (20 kgs de N por Ha). 4.93 % a.e. de ¹⁵ N	46 Kg/ha de Triple super fosfato. (21 kgs de P ₂ O ₅ por Ha). y 35 Kg/ha de Muriato de Potasio. (21 kgs de K ₂ O por Ha).	Mezcla de Cepas CIAT 632, 57 y 51.
R ₁			Sin inóculo

R₁ = Frijol no nodulante CIAT-125.

6.2.4. Unidad experimental y área del experimento:

Las unidades experimentales consistieron en parcelas con un área bruta de 1.25 m², las mismas estuvieron compuestas por surcos de los diferentes cultivares distanciados a 0.50 m por 2.5 m de longitud (parcelas de 0.5 x 2.5 m). El área neta fue de 0.75 m² (0.5 x 1.5 m), de la cual se tomaron 10 plantas para su análisis, esta área estuvo delimitada por 0.50 m de cabeceras para eliminar el efecto de borde. La distancia entre plantas fue de 0.10 m (figura 8A).

Los bloques fueron dispuestos perpendiculares al gradiente de variabilidad (en este caso la pendiente); para separar un bloque de otro se dejó 1.0 metro de calle y para eliminar el efecto de borde, en

los surcos laterales de cada bloque se colocó una unidad experimental extra del cultivar testigo ICTA-San Martín. Cada bloque consistió en un área bruta de 20.0 m² y un área neta de 12.0 m² donde se aplicó el sulfato de amonio marcado. El área total del experimento fue de 148.5 m², con un área bruta total de 100.0 m², y un área neta total de 60.0 m² (figura 8A).

6.2.5. Variables respuestas:

Se contemplaron 8 observaciones para estimar la floración de las plantas: estas observaciones se efectuaron a los 37, 40, 42, 45, 48, 51, 53 y 55 días después de la siembra. Lo anterior se realizó con el objeto de determinar la cosecha de las plantas, ya que se hizo cuando alcanzaron un 50 % de floración (a los 48, 51, 53 y 55 días después de la siembra).

Una vez estimado este porcentaje de plantas floreadas, se procedió a tomar los siguientes parámetros:

- Número de nódulos.
- Peso fresco y peso seco de nódulos.
- Volumen de nódulos.
- Rendimiento de materia seca (kgs/ha).
- Rendimiento de nitrógeno (kgs/ha).
- Nitrógeno derivado del aire ó fijado (NDDA).
- Nitrógeno derivado del suelo (NDDS).
- Nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF).
- Rendimiento de grano.

6.2.6. Modelo estadístico:

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente (15):

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \epsilon_{ij}$$

- Y_{ij} = Variable respuesta observada en el i -ésimo bloque del j -ésimo tratamiento (cultivar).
- μ = Valor de la media general.
- β_i = Efecto del i -ésimo bloque ó repetición.
- α_j = Efecto del j -ésimo tratamiento (cultivar).
- ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la interacción del i -ésimo bloque y al j -ésimo tratamiento (cultivar).

6.2.7. Manejo del experimento:

El experimento se desarrolló en las siguientes etapas:

6.2.7.1. Inoculación de la semilla.

Esta etapa se inició con la preparación de la semilla de frijol un día antes de la siembra (5), para lo cual se realizaron los siguientes pasos:

- Humedecimiento de la semilla con una solución de goma arábica al 45 % (v/v), lo cual funcionó como un adherente del inóculo a la semilla.
- Aplicación del inoculante, en una proporción de 10 gramos del mismo por kilogramo de semilla.
- Peletización de la semilla con Carbonato de Calcio (CaCO_3) para proteger las bacterias de *Rhizobium* inoculadas, mientras germinaba la semilla (5).

6.2.7.2. Etapa de Campo.

A. Preparación del terreno:

La preparación del terreno se realizó en forma mecanizada mediante una pasada de aradura y dos pasos de rastra cruzada, quedando el suelo mullido y en buenas condiciones para sembrar.

B. Siembra:

La siembra se realizó en forma manual, colocando 1 semilla por postura, la distancia de siembra fue de 50 centímetros entre surcos y 10 centímetros entre plantas.

C. Programa de fertilización:

Según análisis de suelos efectuado (inciso 3.2.2.4), y tomando en cuenta tanto los límites críticos como los requerimientos nutricionales del cultivo del frijol¹ para evitar que la planta tuviese deficiencias nutricionales durante su desarrollo, se aplicaron los siguientes fertilizantes:

C.1. Fertilizante fosfatado:

Como fuente de fósforo se utilizó triple superfosfato (46 % P_2O_5), en dosis de 46 kgs/ha (21 kgs de P_2O_5 por ha), equivalente a la aplicación 5.89 gramos de triple superfosfato por unidad experimental.

C.2. Fertilizante potásico:

Como fuente de potasio se utilizó muriato de potasio (60 % K_2O) en dosis de 35 kgs/ha (21 kgs de K_2O por ha), equivalente a la aplicación de 4.5 gramos de muriato de potasio por unidad experimental.

Estos fertilizantes se aplicaron al fondo del surco, cubriéndolos con una capa de suelo antes de la siembra.

C.3. Fertilizante nitrogenado:

Se aplicó una dosis estándar de 20 kgs de nitrógeno por hectárea, utilizando como fuente de nitrógeno sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$ enriquecido con 4.93 % de átomos en exceso (a.e.) de ^{15}N . Su aplicación se realizó 15 días después de la siembra, misma que se realizó disolviendo por cada 20 litros de agua, 190.48 gramos de sulfato de

¹ Informe anual del año de 1974 del Programa de Nutrición Vegetal del ICTA.

amonio marcado. Esta solución se aplicó con una regadera, a todas las plantas de cada bloque experimental, cuya área bruta fue de 20 metros cuadrados y un área neta de 12.0 metros cuadrados.²

A través de esta solución se aplicaron al suelo 95.24 kilogramos de sulfato de amonio por hectárea; 1.0 kilogramo de ¹⁵N por hectárea, ó sea 0.1 gramos de ¹⁵N por metro cuadrado.³

Esta fertilización se aplicó en horas de la mañana cuando la temperatura del suelo no fue muy alta para evitar pérdidas de nitrógeno por volatilización.

D. Control de malezas:

Se realizó una limpia con azadón a los 20 días después de la siembra, y una segunda limpia y aporque, 25 días después de la primera limpia; esto con el objeto de mantener al cultivo libre de malezas y darle un mayor sostén.

E. Control de plagas y enfermedades:

E.1. Plagas:

Contra plagas del follaje como Bemisia tabaci (Mosca Blanca), Diabrotica sp. (Tortuguillas) y Empoasca spp. (Chicharritas), se aplicó Tamarón 600, en dosis de 25 centímetros cúbicos por bomba de 4 galones. Se efectuó la primera aplicación a los 15 días de nacidas las plantas, repitiendo la aplicación semanalmente (9).

Contra plagas del suelo como Phyllophaga sp., (Gallina Ciega), y

² El fertilizante marcado debe ser disuelto en por lo menos 0.5 litros de agua por metro cuadrado según Hardarson y Danso (12).

³ A los fines de que se pueda detectar el ¹⁵N por espectrometría de emisión, Hardarson y Danso (12), recomiendan aplicar 0.1 gramos de ¹⁵N por m².

Agrotis sp. (gusano nochero), se aplicó Volatón granulado azul al 5 % en dosis de 107.57 kgs/ha al momento de la siembra (9).

Contra Apion godmani (Picudo de la vaina), se realizaron aplicaciones preventivas de Folidol M-480, a razón de 25 centímetros cúbicos por bomba de 4 galones; esta aplicación se efectuó al inicio de la floración (9).

E.2. Enfermedades:

Mosaico Dorado: Se observaron las plantas y las que presentaron este daño se arrancaron y enterraron fuera del experimento, con lo que evitamos que la Bemisia tabaci (Mosca Blanca) propague esta enfermedad (9).

Roya: Se realizaron aplicaciones preventivas y curativas de Dithane M-45 y Cupravit Forte 85 WP, agregando 75 centímetros cúbicos por bomba de 4 galones (9).

Ascoquita: Se realizaron aplicaciones preventivas de Benlate, en una dosis de 25 centímetros cúbicos por bomba de 4 galones.

Antracnosis: Se realizaron aplicaciones tanto preventivas como curativas de Antracol en una dosis de 75 centímetros cúbicos por bomba de 4 galones.

6.2.7.3. Procedimiento para la toma y manejo de muestras y sub-muestras en el campo y laboratorio:

A. En el campo:

- Las muestras y sub-muestras en las parcelas fueron tomadas cuando existió un 50 % de floración (a los 48, 51, 53 y 55 días después de la siembra, dependiendo del cultivar), en cada toma de muestras se realizó lo siguiente:

* Se extrajeron del suelo con su raíz completa, 10 plantas por unidad experimental.

* Se cortó la raíz a ras de la corona, y debidamente limpias se colocaron en bolsas plásticas previa identificación de cada tratamiento y bloque.

* Se registró el Peso Fresco Total (PFT) de la parte aérea de las plantas cosechadas de la parcela neta (de 0.75 m²).

* Las 10 plantas cosechadas por unidad experimental se picaron en trozos de 1 a 3 cms.

* El material picado se mezcló bien, colocándolo sobre un plástico.

* La muestra bien mezclada se apiló al centro del plástico y se tomó una sub-muestra de 200 a 300 gramos de material fresco (Peso Fresco de la Sub-muestra, PFS).

* Se colocó la sub-muestra en una bolsa de papel kraf bien identificada.

B. El manejo de la sub-muestra picada, en el laboratorio:

* La sub-muestra se colocó en un horno con aire circulante a una temperatura de 70°C durante 72 horas, tiempo suficiente para que las mismas se secaran.

* Se registró el Peso Seco de la Sub-muestra (PSS).

* A continuación se obtuvo el Peso Seco Total (PST), proveniente de la parcela, mediante la siguiente fórmula:

$$PST = PFT * (PSS/PFS)$$

* El rendimiento en Kg. de materia seca por hectárea se obtuvo relacionando el PST obtenido de 0.75 m² con el obtenido en una hectárea, mediante una simple regla de tres.

* Los datos obtenidos se registran en los cuadros 18A a 22A.

* Obtenido el Peso Seco de la Sub-muestra, se trituroó finamente en un molino tipo centrífuga de eje vertical marca Retsch, obteniendo un polvo de 0.39 mm de diámetro aproximadamente (40 mesh).

* Una vez obtenido este polvo, se prosiguió con la metodología de laboratorio Kjeldahl-Oxidación-Rittenberg, mediante la cual se midió la

relación $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ a través de un espectrómetro de emisión tipo NOI-6E (determinación del % de átomos en exceso de ^{15}N). Para esto los compuestos de nitrógeno de la muestra se convirtieron a nitrógeno gaseoso. En síntesis el método consiste en lo siguiente:

B.1. Digestión en húmedo.

B.2. Destilación.

B.3. La determinación del porcentaje de nitrógeno total mediante el método volumétrico (titulación).

B.4. Adición de ácido para evitar pérdidas de nitrógeno en los análisis sucesivos de la relación $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$.

B.5. Conversión de las sales de amonio en nitrógeno gaseoso mediante la reacción Rittenberg.

* El diagrama de flujo de la toma y manejo de muestras y sub-muestras, tanto en campo como en laboratorio se presenta en la figura 9A.

C. Manejo de las raíces en el laboratorio:

A las raíces de las 10 plantas cosechadas de la parcela neta en cada unidad experimental se les aplicó el siguiente procedimiento:

* Se limpiaron y arrancaron los nódulos de cada grupo de raíces.

* Los nódulos debidamente limpios de piedras y suelo fueron:

C.1. Pesados en balanza analítica marca Sartorius de 110 gramos de capacidad y una sensibilidad de 0.0001 gramos.

C.2. Medido su volumen en probeta graduada de 25 cc.

C.3. Contados.

6.2.7.4. Cálculos para la cuantificación de las variables:

A. Valores medidos : (de campo y laboratorio)

A.1. Rendimiento de materia seca (M.S) en Kgs/ha.

A.2. Porcentaje de nitrógeno total.

A.3. Porcentaje de átomos en exceso (a.e.) de ^{15}N de las muestras.

B. Valores calculados : de acuerdo a las ecuaciones usadas por Danso y Hardarson (12).

$$\text{B.1. Rendimiento de nitrógeno} = \frac{\text{M.S. (Kg/ha)} * \% \text{ de N total}}{100}$$

(kgs/ha)

M.S. = Materia Seca.

$$\text{B.2. \% NDDF} = \frac{\% \text{ a.e. } ^{15}\text{N} \text{ de la muestra} * 100}{\% \text{ a.e. de } ^{15}\text{N} \text{ del fertilizante}}$$

% NDDF = Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante.

$$\text{B.3. Rendimiento de NDDF} = \frac{\text{Rendimiento de N (Kg/ha)} * \% \text{ NDDF}}{100}$$

(kgs/ha)

$$\text{B.4. \% NDDA} = 1 - \frac{\% \text{ NDDF (F)}}{\% \text{ NDDF(NF)}} * 100$$

% NDDA = Porcentaje de nitrógeno derivado del aire ó fijado.

F = Cultivo fijador (frijol).

NF = Cultivo de referencia (no fijador de nitrógeno).

$$\text{B.5. Rendimiento de NDDA} = \frac{\text{Rendimiento de N (Kg/ha)} * \% \text{ NDDA}}{100}$$

(kgs/ha)

$$\text{B.6. \% NDDS} = 100 - \% \text{ NDDF} - \% \text{ NDDA}$$

% NDDS = Porcentaje de nitrógeno derivado del suelo.

$$\text{B.7. Rendimiento de NDDS} = \frac{\text{Rendimiento de N (Kg/ha)} * \% \text{ NDDS}}{100}$$

(kgs/ha)

Los datos anteriores se registran en los cuadros 23A a 27A.

6.2.8. Análisis de la información:

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos de las variables de respuesta en estudio, se aplicó un análisis de varianza según el modelo estadístico de Diseño de Bloques al Azar para establecer si existían diferencias significativas ó altamente significativas entre tratamientos. El análisis demostró la existencia de diferencias significativas y altamente significativas, por lo que se aplicó una Prueba Múltiple de Medias Tukey, lo que nos indicó cuales de los cultivares de frijol son los mejores de acuerdo a la variable de respuesta analizada.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. Resultados:

Los resultados de la presente investigación se dan a conocer en el cuadro 4 que presenta las medias de las diferentes variables tomadas en cuenta para determinar el potencial de fijación biológica de nitrógeno de los 15 cultivares en estudio y en el cuadro 5, el cual presenta sus respectivos valores de nodulación.

CUADRO 4. Resultados promedios obtenidos por cada cultivar de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para determinar su potencial de fijación biológica de nitrógeno utilizando como comparador no fijador de nitrógeno atmosférico la variedad de frijol no nodulante CIAT-125.

Tratamiento	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	Rendimiento de M.S. (Kg/ha)	N Total (%)	Rendimiento de N (Kg/ha)	a.s.de N-15 (%)	NDDF (%)	NDDF (Kg/ha)	NDDA (%)	N fijado (Kg/ha)	NDDS (%)	NDDS (Kg/ha)	Rendimiento de grano (kg/ha)
1	ICTA-Costena	3.71	33.16	1.46	29.61	9.82	31.46	10.43	38.93	12.91	932.60
2	DOR 453	3.36	32.96	1.46	29.61	9.76	31.46	10.37	38.93	12.83	1032.00
3	DOR 454	3.67	38.51	1.40	28.40	10.94	34.27	13.20	37.33	14.38	1167.80
4	JU 93-1	3.66	28.23	1.75	35.50	9.31	17.84	4.68	46.66	12.24	1058.40
5	JU 93-7	3.21	40.42	1.26	25.56	10.33	40.85	16.51	33.60	13.58	1497.00
6	JU 93-4	3.37	33.38	1.61	32.66	10.90	24.41	8.15	42.93	14.33	1218.60
7	ICTA-Achuapa	3.41	29.31	1.71	34.69	10.17	19.72	5.78	45.60	13.36	1366.00
8	ICTA-Sta. Gertrudis	3.51	33.71	1.40	28.40	9.57	34.27	11.55	37.33	12.58	856.80
9	ICTA-Chapala	3.27	28.73	1.66	33.67	9.67	22.07	6.34	44.26	12.72	546.60
10	DOR 448	3.57	34.01	1.39	28.19	9.59	34.74	11.81	37.06	12.60	904.40
11	ICTA JU 93-5	3.57	39.76	1.30	26.37	10.49	38.97	15.49	34.66	13.78	972.70
12	ICTA JU 90-7	3.24	27.84	1.76	35.70	9.94	17.37	4.84	46.93	13.06	636.10
13	DOR 500	3.46	35.17	1.31	26.57	9.34	38.50	13.54	34.93	12.28	1079.20
14	DOR 445	3.47	32.87	1.33	26.98	8.87	37.56	12.35	35.46	11.66	899.40
15	ICTA-Sn. Martín *	3.33	30.94	1.31	26.57	8.22	38.50	11.91	34.93	10.81	1742.90
Cultivar de Referencia	CIAT-125	3.15	29.48	2.13							

* = Cultivar testigo

M.S. = Materia seca

a.s. de N-15 = Atomos en exceso de N-15

NDDF = Nitrógeno derivado del fertilizante

NDDA = Nitrógeno derivado de la fijación atmosférica

NDDS = Nitrógeno derivado del suelo

CUADRO 5. Valores promedios de nodulación obtenidos de 10 plantas de cada cultivar de frijol evaluado.

Trat.	Cultivar	Peso Seco de Nódulos (grs)	Peso Fresco de Nódulos (grs)	Volumen de Nódulos	Número de nódulos
1.	ICTA-Costeña	1.39	6.93	12.54	546
2.	DOR 453	1.01	5.14	12.56	590
3.	DOR 454	1.83	9.78	13.32	645
4.	JU 93-1	1.16	5.94	9.64	475
5.	JU 93-7	1.79	8.66	17.20	1041
6.	JU 93-4	1.45	7.18	11.78	509
7.	ICTA-Achuapa	1.40	6.93	10.44	476
8.	ICTA-Sta.Gertrudis	1.53	7.40	12.70	631
9.	ICTA-Chapina	1.50	7.30	11.00	493
10.	DOR 448	1.57	7.52	13.44	655
11.	ICTA JU 93-5	1.03	5.24	15.27	868
12.	ICTA JU 90-7	1.31	6.64	7.71	428
13.	DOR 500	1.53	7.44	13.74	706
14.	DOR 445	1.05	5.77	13.56	660
15.	ICTA San Martín*	1.65	8.26	14.96	772

* = Cultivar testigo.

7.2. Discusión de resultados:

Con el fin de evaluar la fijación biológica de nitrógeno de los 15 cultivares en estudio, se analizaron estadísticamente los datos de las variables: rendimiento de materia seca, rendimiento de nitrógeno total, rendimiento de grano, nitrógeno derivado del aire (NDDA), nitrógeno derivado del suelo (NDDS), nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF) y rendimiento de nodulación (peso fresco, peso seco, volumen y número de nódulos).

CUADRO 6. Resumen de los resultados del análisis de varianza efectuado a cada variable respuesta.

Variable	C.V.	F.C.	F.T.	
			0.05	0.01
Rendimiento de materia seca(kg/ha)	18.43	2.47 **	1.89	2.43
Rendimiento de nitrógeno (kg/ha)	20.17	2.01 *		
Rendimiento de grano.	20.0	9.83 **		
% de Nitrógeno derivado del aire (NDDA)	17.85	4.24 **		
% de Nitrógeno derivado del suelo (NDDS)	8.09	3.94 **		
% de Nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF)	7.81	3.74 **		
NDDA (kg/ha)	45.0	2.78 **		
NDDS (kg/ha)	15.02	1.20 NS		
NDDF (kg/ha)	15.03	1.20 NS		
Peso fresco de nódulos	18.36	4.66 **		
Peso seco de nódulos	19.94	4.24 **		
Volumen de nódulos	17.46	5.69 **		
Número de nódulos	12.60	5.04 **		

** = Diferencias altamente significativas.

* = Diferencias significativas.

NS = No existieron diferencias significativas.

El cuadro 6, muestra el resumen de sus respectivos análisis de varianza (ampliación de estos resultados se presentan en el apéndice del cuadro 28A al 40A). Este análisis, muestra diferencias significativas y altamente significativas en todas las variables respuesta, a excepción del nitrógeno derivado del suelo (NDDS) y del fertilizante (NDDF) expresadas en kgs/ha, en las cuales no existen diferencias significativas. El experimento, podemos afirmar que fue bien manejado, ya que sus coeficientes de variación son relativamente bajos, a excepción del nitrógeno derivado de la fijación atmosférica (NDDA). Sin embargo, se considera aceptable ya que es una variable gobernada por el

potencial de fijación biológica de nitrógeno de cada cultivar, y, de acuerdo con Vidor (24), es un factor dependiente de la constitución genética y fisiológica de la planta hospedera, por lo tanto no es controlable dentro de la conducción física del experimento. A continuación se discuten sobre los resultados obtenidos de cada variable:

7.2.1. Rendimiento de materia seca, nitrógeno total y rendimiento de grano (kg/ha).

Las columnas 1, 3 y 11 del cuadro 4, nos muestran los datos obtenidos para estas variables. Según el cuadro 6, el análisis estadístico mostró diferencias significativas y altamente significativas.

CUADRO 7. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta rendimiento de materia seca en kgs/ha.

Trat.	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO TUKEY
5	JU 93-7	1259.04	A
11	ICTA JU 93-5	1113.84	B
3	DOR 454	1049.44	B
13	DOR 500	1016.36	B
6	JU 93-4	990.40	B
2	DOR 453	980.84	B
8	ICTA Sta. gertrudis	960.40	B
10	DOR 448	952.56	B
14	DOR 445	947.36	B
15	ICTA San Martin	929.20	B
1	ICTA Costeña	893.80	B
9	ICTA Chapina	878.60	B
7	ICTA Achuapa	859.52	C
12	ICTA JU 90-7	859.16	C
4	JU 93-1	716.80	C

En cuanto al rendimiento de materia seca, en el cuadro 7, observamos según la prueba de Tukey que la Línea JU 93-7 reporta el máximo valor (1259.04 kgs/ha), superando estadísticamente al resto de los cultivares.

CUADRO 8. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicada a la variable respuesta rendimiento de nitrógeno (kgs/ha).

Trat.	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO TUKEY
5	JU 93-7	40.42	A
11	ICTA JU 93-5	39.76	A
3	DOR 454	38.51	A
13	DOR 500	35.17	B
10	DOR 448	34.01	B
8	ICTA Sta.Gertrudis	33.71	B
6	JU 93-4	33.38	B
1	ICTA Costeña	33.16	B
2	DOR 453	32.96	B
14	DOR 445	32.87	B
15	ICTA San Martin	30.94	C
7	ICTA Achuapa	29.31	C
9	ICTA Chapina	28.73	C
12	ICTA JU 90-7	27.84	C
4	JU 93-1	26.23	C

En el cuadro 8, observamos que la misma línea resulta ser superior en cuanto al rendimiento de nitrógeno total, pero estadísticamente se comporta igual con los cultivares ICTA JU 93-5 y DOR 454. Es importante mencionar que la variedad ICTA San Martín (testigo local), estadísticamente presenta valores bajos tanto de materia seca como de nitrógeno total, tal y como se observa en los cuadros 7 y 8, sin embargo, de acuerdo al cuadro 9, presenta el mayor rendimiento en grano con una media de 1742.90 kgs/ha.

CUADRO 9. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicada a la variable respuesta rendimiento de grano (kgs/ha)

Trat.	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO TUKEY
15	ICTA San Martin	1742.9	A
5	JU 93-7	1497.0	B
7	ICTA Achuapa	1366.0	C
6	JU 93-4	1218.6	D
3	DOR 454	1167.8	D
13	DOR 500	1079.2	E
4	JU 93-1	1058.4	E
2	DOR 453	1032.0	E
11	ICTA JU 93-5	972.7	F
1	ICTA-Costeña	932.6	F
10	DOR 448	904.4	F
14	DOR 445	889.4	F
8	ICTA Sta.Gertrudis	856.8	G
12	ICTA JU 90-7	636.1	H
9	ICTA-Chapina	546.6	I

Podemos decir de lo anterior, que no existió una correlación directa entre la cantidad de materia seca y nitrógeno total con el rendimiento de grano, tal y como se puede observar en las figuras 1 y 2. Esto pudo deberse a que las muestras para obtener la materia seca y el nitrógeno total fueron obtenidas entre los 48 a 55 días después de la siembra (en el 50% de floración), por lo que a la planta le faltó tiempo para que pudiera reflejar su máximo contenido de materia seca y por ende de nitrógeno total.

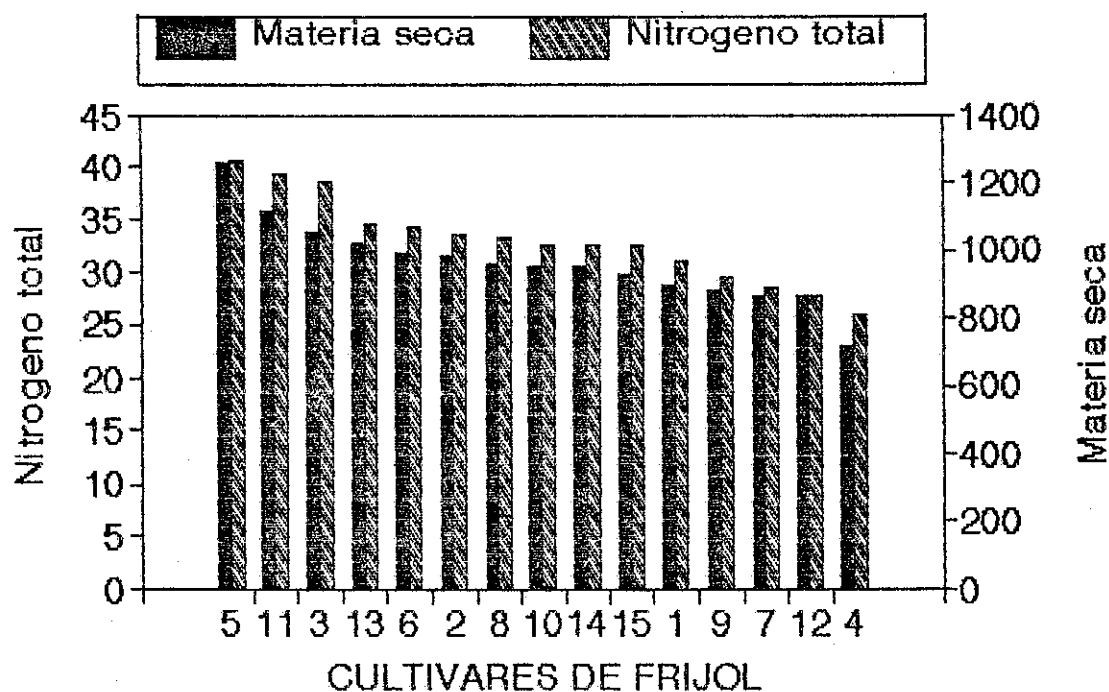


FIGURA 1. Rendimiento de materia seca y

nitrogeno total (kg/ha)

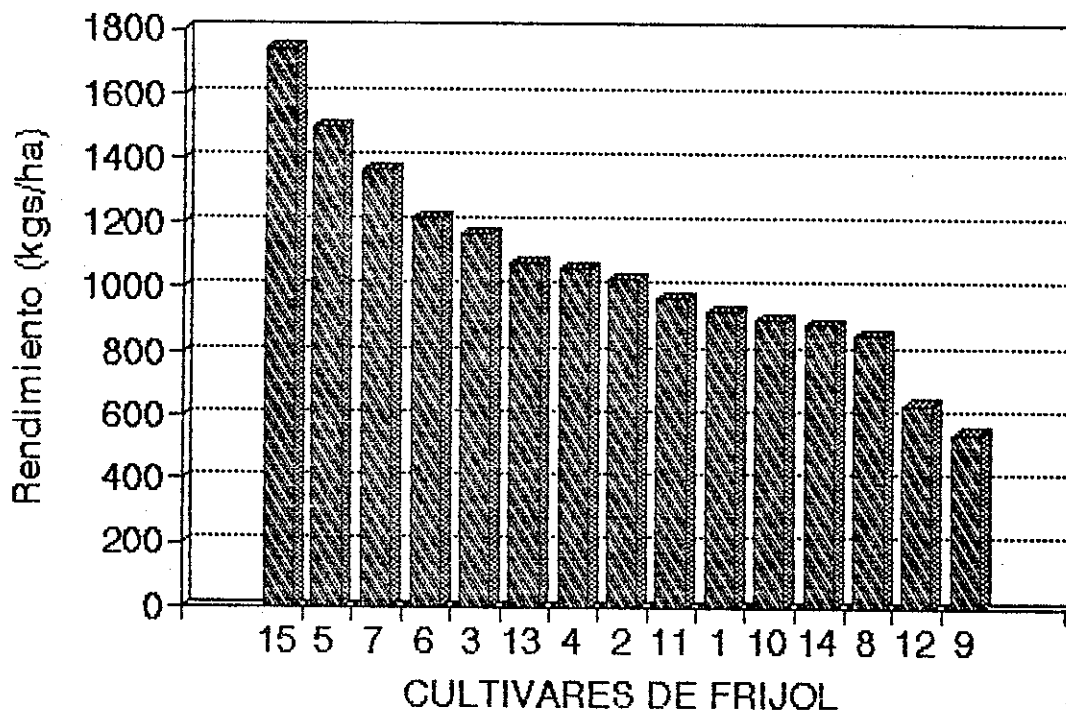


FIGURA 2. Rendimiento de grano de los cultivares
en estudio

El alto rendimiento de la variedad ICTA San Martín, se debe a que ha sido cultivada por mucho tiempo en el área de estudio, y por lo tanto, está bien adaptada a las condiciones de suelo y clima, en tanto que los otros cultivares se encuentran en proceso de evaluación. Es importante mencionar que los cultivares ICTA Achuapa y JU 93-7, Orellana (17) las reporta como las más bajas en rendimiento, dentro del Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento (ECAR) evaluado en 1994 en Jutiapa, mientras que para las condiciones de Chimaltenango, resultaron ser dos de las más rendidoras junto con la variedad ICTA San Martín tal y como se observa en la figura 2.

7.2.2. Fraccionamiento del nitrógeno absorbido por la planta:

A. Nitrógeno derivado de la fijación atmosférica (NDDA), nitrógeno derivado del suelo (NDDS) y nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF) expresados en porcentaje.

En las columnas 5, 7 y 9 del cuadro 4, se presentan los resultados promedio para estas variables. Los análisis estadísticos mostraron diferencias altamente significativas (cuadro 6).

CUADRO 10. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta porcentaje de nitrógeno derivado del aire.

Trat.	CULTIVAR	MEDIA*	GRUPO TUKEY
5	JU 93-7	40.85	A
11	ICTA JU 93-5	38.97	B
15	ICTA San Martin	38.50	B
13	DOR 500	38.50	B
14	DOR 445	37.56	C
10	DOR 448	34.74	D
3	DOR 454	34.27	D
8	ICTA Sta. Gertrudis	34.27	D
2	DOR 453	31.46	D
1	ICTA Costeña	31.46	D
6	JU 93-4	24.41	D
9	ICTA Chapina	22.07	D
7	ICTA Achuapa	19.72	E
4	JU 93-1	17.84	F
12	ICTA JU 90-7	17.37	F

* = Datos transformados a valores angulares mediante la fórmula $\text{Sen}^{-1}\sqrt{X/100}$

Según la prueba de Tukey efectuada al porcentaje de NDDA, en el cuadro 10, nos muestra que la Línea JU 93-7 presenta el mayor porcentaje de nitrógeno fijado (40.85%), mientras que los cultivares JU 93-1 e ICTA JU 90-7 fijaron solo 17.84 y 17.37% del total del nitrógeno presente en la planta respectivamente.

CUADRO 11. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta porcentaje de nitrógeno derivado del suelo.

Trat.	CULTIVAR	MEDIA*	GRUPO TUKEY
12	ICTA JU 90-7	46.93	A
4	JU 93-1	46.66	B
7	ICTA-Achuapa	45.60	C
9	ICTA-Chapina	44.26	D
6	JU 93-4	42.93	D
1	ICTA Costeña	38.93	D
2	DOR 453	38.93	D
8	ICTA Sta.Gertrudis	37.33	D
3	DOR 454	37.33	D
10	DOR 448	37.06	D
14	DOR 445	35.46	D
15	ICTA San Martin	34.93	E
13	DOR 500	34.93	E
11	ICTA JU 93-5	34.66	E
5	JU 93-7	33.60	F

* = Datos transformados a valores angulares mediante la fórmula $\text{Sen}^{-1} \sqrt{X/100}$

CUADRO 12. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante.

Trat.	CULTIVAR	MEDIA*	GRUPO TUKEY
12	ICTA JU 90-7	35.70	A
4	JU 93-1	35.50	A
7	ICTA-Achuapa	34.69	B
9	ICTA-Chapina	33.67	C
6	JU 93-4	32.66	C
1	ICTA Costeña	29.61	C
2	DOR 453	29.61	C
8	ICTA Sta.Gertrudis	28.40	C
3	DOR 454	28.40	C
10	DOR 448	28.19	C
14	DOR 445	26.98	C
15	ICTA San Martin	26.57	D
13	DOR 500	26.57	D
11	ICTA JU 93-5	26.37	D
5	JU 93-7	25.56	D
			E

* = Datos transformados a valores angulares mediante la fórmula $\text{Sen}^{-1} \sqrt{X/100}$

Por otra parte, los cuadros 11 y 12, nos indican que sucede todo lo contrario con las variables % NDDS y % NDDF, ya que la línea JU 93-7, derivó menos nitrógeno de estas dos fuentes, mientras que los cultivares JU 93-1 e ICTA JU 90-7 presentaron los porcentajes más altos.

Complementario a esto, y de acuerdo a la figura 3, a medida en que la planta fija menos nitrógeno del aire (como sucede con los cultivares JU 93-1 é ICTA JU 90-7) utiliza en mayor grado el nitrógeno del suelo y el nitrógeno suministrado por el fertilizante, esto, debido a su bajo nivel de fijación biológica de nitrógeno atmosférico.

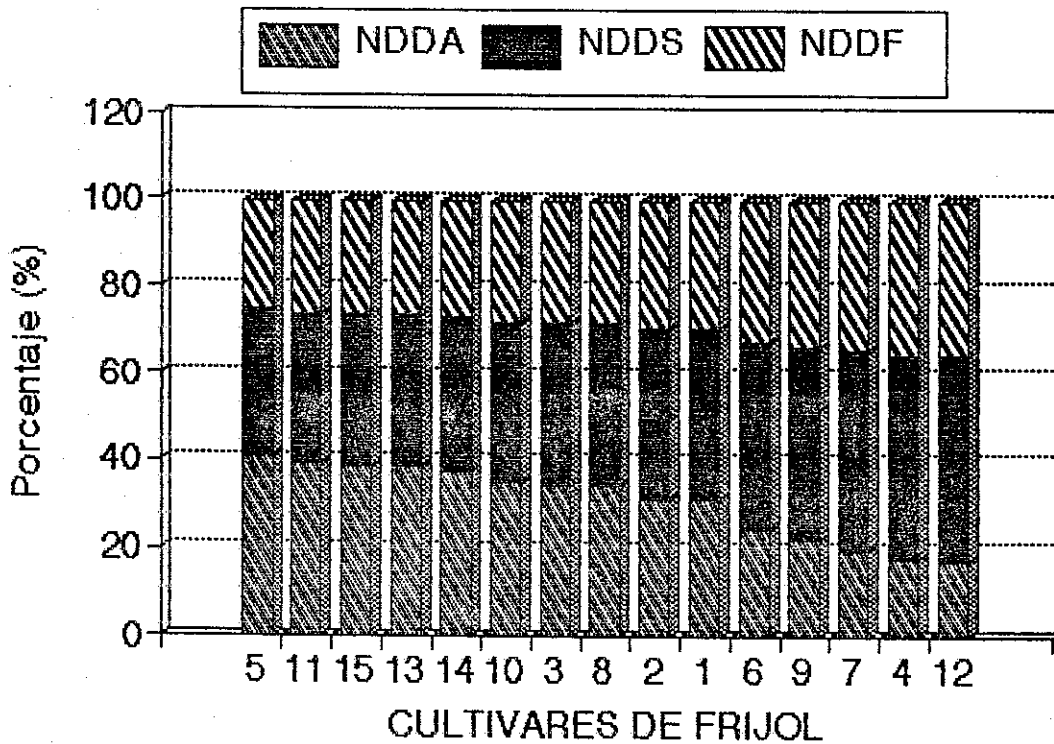


FIGURA 3. Fracción de nitrógeno derivado del aire (NDDA), del suelo (NDDS) y del fertilizante (NDDF), expresado en porcentaje

B. Nitrógeno derivado de la fijación atmosférica (NDDA), nitrógeno derivado del suelo (NDDS) y nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF) expresados en kgs/ha.

Similares resultados se presentan en la cantidad de nitrógeno derivado de la fijación atmosférica (NDDA) si comparamos esta variable con la expresada anteriormente en porcentaje. El análisis estadístico efectuado al NDDA, mostró diferencias altamente significativas, más sin embargo, para las variables NDDS y NDDF no se registraron diferencias (cuadro 6), por lo que todos los cultivares tienen la misma capacidad para extraer el nitrógeno proveniente de estas dos fuentes, en un rango de 10.81 a 14.38 kgs/ha para el NDDS y de 8.22 a 10.94 kgs de N/ha para el NDDF. Lo anterior se puede visualizar mediante la figura 4.

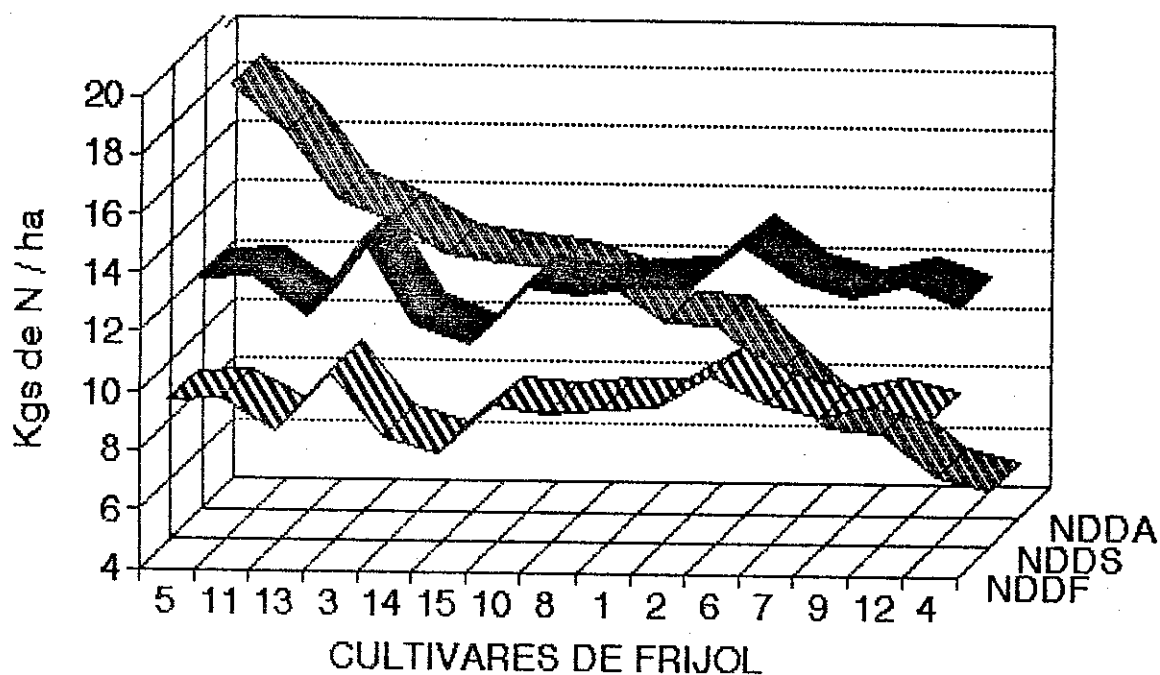


FIGURA 4. Fracción de nitrógeno derivado del aire (NDDA), del suelo (NDDS) y del fertilizante (NDDF), expresado en kgs/ha.

CUADRO 13. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta nitrógeno derivado del aire (kgs/ha).

No.	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO TUKEY
5	JU 93-7	16.51	A
11	ICTA JU 93-5	15.49	B
13	DOR 500	13.54	B
3	DOR 454	13.20	B
14	DOR 445	12.35	B
15	ICTA San Martin*	11.91	B
10	DOR 448	11.81	B
8	ICTA Sta. Gertrudis	11.55	B
1	ICTA Costeña	10.43	B
2	DOR 453	10.37	B
6	JU 93-4	8.15	B
7	ICTA Achuapa	5.78	B
9	ICTA Chapina	6.34	B
12	ICTA JU 90-7	4.84	C
4	JU 93-1	4.68	C

* = Cultivar testigo

Al efectuar la prueba de Tukey (cuadro 13) la mayor fijación biológica de nitrógeno corresponde a la línea JU 93-7, la cual fija 16.51 kgs de N/ha; mientras que los cultivares ICTA JU 90-7 y JU 93-1 tienen los valores de fijación más bajos, con valores de 4.84 y 4.68 kgs de N/ha respectivamente. El resto de los cultivares entre los que se encuentra el testigo local (ICTA San Martín), presentan valores intermedios con un promedio de 10.91 kgs de N/ha fijados.

Sanabria (21), en 1991, empleando la misma técnica del ^{15}N , y bajo similares condiciones, reporta para la variedad San Martín valores de 70.40 % de fijación de nitrógeno. Sin embargo, en la presente investigación, la fijación observada fue de 38.5 % del nitrógeno total absorbido por la planta (cuadro 10). De acuerdo a lo anterior, podría ser que los cultivares evaluados no revelaran su máxima capacidad de utilizar la fijación biológica de nitrógeno, ya que en cualquier evaluación existen factores que no son controlables fácilmente, tales como:

* Los cultivares evaluados son de reciente introducción y, posiblemente no se haya establecido una relación óptima de simbiosis con las cepas de *Rhizobium* nativas ó las utilizadas en la inoculación, ya que según Vidor (24), los resultados pueden ser modificados y grandes variaciones pueden ser obtenidas de acuerdo a la cepa usada.

* La entrada de nitrógeno por precipitación pluvial, registrada durante el ciclo del cultivo (estación del año) y los aportes de nitrógeno de origen orgánico que pueden inhibir la acción fijadora de nitrógeno por las bacterias, lo cual ha sido probado por otros investigadores (15), quienes han observado que cuando la planta es proveída de abundante nitrógeno, nodula poco ó no lo hace.

Los resultados obtenidos, permiten inferir que los cultivares evaluados tienen diferente potencial para fijar simbioticamente el nitrógeno proveniente de la atmósfera, que la Línea JU 93-7 se perfila como una de las más adaptables a las condiciones bajo las cuales se realizó el estudio; y posee buen potencial genético de asociación simbiótica con las cepas de *Rhizobium* inoculadas. Este cultivar y otros evaluados en ensayos anteriores con el mismo fin, tales como: ICTA Parramos, ICTA Quinack-ché y el cultivar CU 85-15 reportados por Sanabria (21) y las líneas 177, 77 y 18 del vivero de adaptación de negros 1984 del CIAT reportadas por Aguilera y Rodas (1), podrían utilizarse como punto de partida para programas de mejoramiento genético del frijol para mejorar la capacidad de fijar nitrógeno de la atmósfera por *Rhizobium*.

7.2.3. Rendimiento de nodulación:

En el cuadro 5, se presentan los datos para las variables peso fresco, peso seco, volumen y número de nódulos. El análisis estadístico para estas variables mostró diferencias altamente significativas (cuadro 6), lo cual nos indica que los cultivares evaluados tienen diferente capacidad de nodular.

CUADRO 14. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicada a la variable respuesta peso fresco de nódulos (grs).

No.	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO TUKEY
3	DOR 454	9.78	A
5	JU 93-7	8.66	B
15	ICTA San Martín	8.26	B
10	DOR 448	7.52	C
8	ICTA Sta. Gertrudis	7.44	C
13	DOR 500	7.40	C
9	ICTA Chapina	7.30	C
6	JU 93-4	7.18	C
7	ICTA Achuapa	6.93	C
1	ICTA Costeña	6.93	C
12	ICTA JU 90-7	6.64	D
4	JU 93-1	5.94	D
14	DOR 445	5.77	D
11	ICTA JU 93-5	5.24	E
2	DOR 453	5.14	E

CUADRO 15. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicada a la variable respuesta peso seco de nódulos (grs).

Trat.	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO TUKEY
3	DOR 454	1.83	A
5	JU 93-7	1.79	A
15	ICTA San Martín	1.65	B
10	DOR 448	1.57	C
8	ICTA Sta. Gertrudis	1.53	C
13	DOR 500	1.53	C
9	ICTA Chapina	1.50	C
6	JU 93-4	1.45	C
7	ICTA Achuapa	1.40	C
1	ICTA Costeña	1.40	C
12	ICTA JU 90-7	1.31	D
4	JU 93-1	1.16	D
14	DOR 445	1.05	D
11	ICTA JU 93-5	1.04	D
2	DOR 453	1.01	D

CUADRO 16. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta volumen de nódulos.

Trat.	CULTIVAR	MEDIA	GRUPO TUKEY
5	JU 93-7	17.20	A
11	ICTA JU 93-5	15.27	B
15	ICTA San Martín	14.96	B
13	DOR 500	13.74	C
14	DOR 445	13.56	C
10	DOR 448	13.44	C
3	DOR 454	13.32	C
8	ICTA Sta. Gertrudis	12.70	C
2	DOR 453	12.56	C
1	ICTA Costeña	12.54	C
6	JU 93-4	11.78	D
9	ICTA Chapina	11.00	D
7	ICTA Achuapa	10.44	D
4	JU 93-1	9.64	D
12	ICTA JU 90-7	7.71	E

CUADRO 17. Resultados de la prueba múltiple de medias TUKEY practicado a la variable respuesta número de nódulos.

Trat.	CULTIVAR	MEDIA*	GRUPO TUKEY
5	JU 93-7	32.27	A
11	ICTA JU 93-5	29.47	B
15	ICTA San Martín	27.79	C
13	DOR 500	26.56	D
14	DOR 445	25.68	D
10	DOR 448	25.59	D
3	DOR 454	25.40	D
8	ICTA Sta. Gertrudis	25.11	D
2	DOR 453	24.28	E
1	ICTA Costeña	23.36	E
6	JU 93-4	22.57	E
9	ICTA Chapina	22.21	F
7	ICTA Achuapa	21.81	F
4	JU 93-1	21.79	F
12	ICTA JU 90-7	20.70	G

* = Datos transformados de variables discretas a continuas mediante la fórmula \sqrt{X}

Según las pruebas de Tukey efectuadas (cuadros 14, 15, 16 y 17), nos indican que los cultivares DOR 454, JU 93-7, ICTA San Martín e ICTA JU 93-5 presentan los valores de nodulación más altos.

Se observó además, que existe una estrecha relación entre las variables peso fresco y peso seco, así como entre las variables volumen y número de nódulos, tal y como se observa en las figuras 5 y 6.

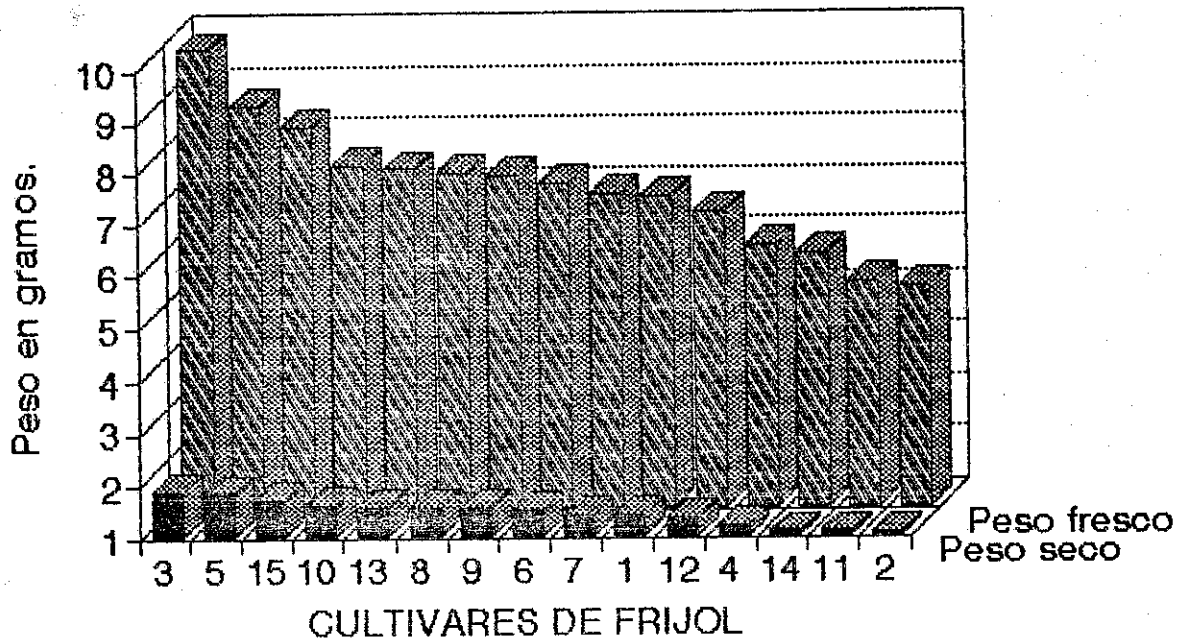


FIGURA 5. Peso fresco y seco de nodulos de 10 plantas cosechadas en el 50 % de floracion

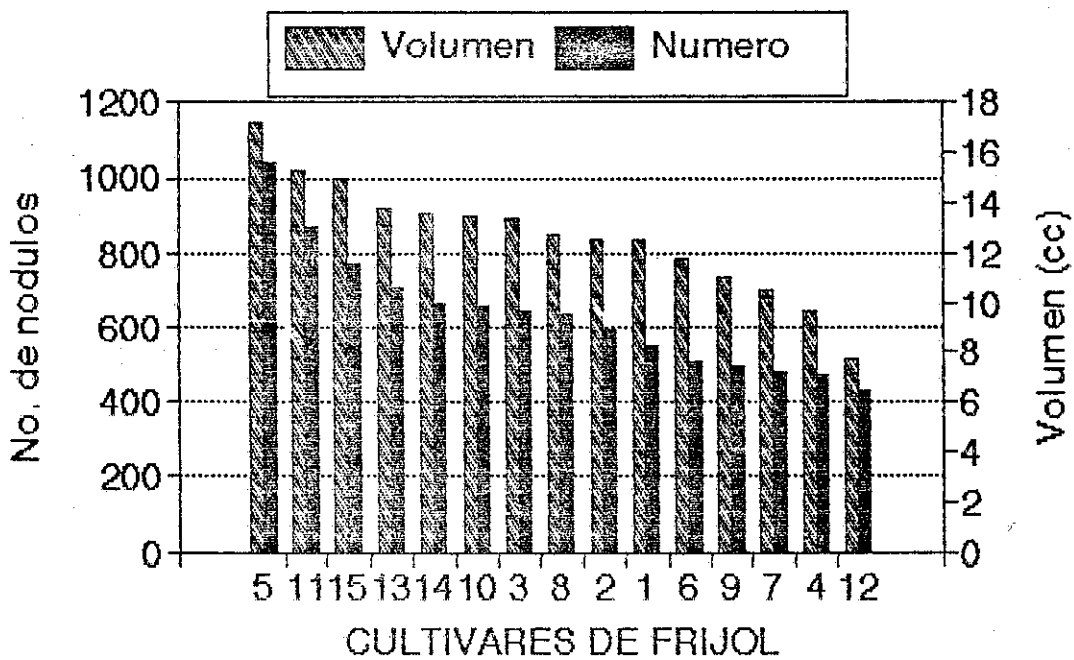


FIGURA 6. Volumen y numero de nodulos de 10 plantas cosechadas en el 50 % de floracion

Aunque los valores obtenidos para el peso fresco y seco de nódulos (figura 5) no se relacionan directamente con la cantidad de nitrógeno fijado (figuras 3 y 4), determinado por la metodología del ^{15}N , si se observa que los cultivares con el mayor e intermedio potencial de fijación presentaron un mayor peso seco de nódulos. Esto es cierto para los cultivares Dor 454, ICTA JU 93-7 e ICTA San Martín, más no para el cultivar ICTA JU 93-5.

En cuanto al volumen y número de nódulos, se observó una mayor relación con la cantidad de nitrógeno fijado que las variables peso fresco y peso seco de nódulos, ya que en las figuras 3 y 4 se evidencia que los cultivares con mayor fijación de nitrógeno (cultivares JU 93-7 e ICTA JU 93-5) y aquellos con menor fijación (cultivares ICTA JU 90-7 y JU 93-1) presentaron respectivamente los valores más altos y más bajos de volumen y número de nódulos (figura 6), lo cual refleja que a través de estas dos variables, nos permiten determinar mayormente la capacidad que tienen las cepas de *Rhizobium* de asociarse con los diferentes cultivares de frijol (18).

7.2.4. Resumen de la discusión de resultados:

Observando los resultados para la línea JU 93-7, esta reporta el valor más alto de nitrógeno derivado de la fijación atmosférica (NDDA), con valores de 40.85% equivalente a una fijación de 16.51 Kgs de N/ha. La misma línea reporta los valores más altos de materia seca, nitrógeno total y rendimiento de nodulación (peso seco, peso fresco, volumen y número de nódulos), por lo que existió una mayor correlación entre estos parámetros que el observado con el rendimiento de grano, debido a que el mayor rendimiento de grano lo reporta la variedad ICTA San Martín con un promedio de 1742.90 kgs/ha.

Hay que tomar en cuenta que la variedad ICTA San Martín ha sido

cultivada por mucho tiempo en el área del estudio y presenta por lo tanto, una buena adaptación a las condiciones de suelo y clima, en tanto que los otros cultivares se encuentran en proceso de evaluación. Esto implica que el cultivar JU 93-7 se presenta como un material con alta capacidad de utilizar el nitrógeno proveniente de la simbiosis Rhizobium-leguminosa y su rendimiento podría mejorarse al incrementar su adaptabilidad a la zona, aunque también pudiera ser utilizada en programas de mejoramiento genético encaminados a mejorar la característica de fijación biológica de nitrógeno. Dicho mejoramiento estaría dirigido a cultivares con altos rendimientos como la variedad ICTA San Martín (para las condiciones de Chimaltenango) ó para las variedades DOR 454, ICTA Costeña e ICTA Ostúa, que según Orellana (17), son altamente rendidoras para el sur-oriente de Guatemala.

En cuanto al nitrógeno derivado del suelo (NDDS) y el nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF), los cultivares mostraron la misma capacidad de extraer el nitrógeno proveniente de estas dos fuentes.

8. CONCLUSIONES

1. En relación a la hipótesis planteada, ésta se comprueba ya que los cultivares de frijol evaluados mostraron diferencias estadísticas altamente significativas en todas las variables de respuesta tomadas en cuenta para determinar la fijación biológica de nitrógeno.
2. El cultivar con la mayor fijación biológica de nitrógeno es la línea JU 93-7, mientras que los cultivares ICTA JU 90-7 y JU 93-1 son los valores más bajos. El resto de los cultivares, entre los que se encuentra el testigo local (ICTA San Martín), se beneficiaron de la fijación biológica de nitrógeno en un promedio de 10.91 kgs de nitrógeno por hectárea.
3. El testigo local (ICTA San Martín) presenta los mayores rendimientos de grano, sin embargo no presenta la máxima fijación biológica de nitrógeno, por lo que podría utilizarse la Línea JU 93-7 en programas mejoramiento tendientes a elevar esta característica.
4. Los cultivares bajo estudio se comportaron estadísticamente iguales en la cantidad absorbida de nitrógeno proveniente tanto del suelo como del fertilizante.
5. Los análisis de varianza de la nodulación (peso fresco, peso seco, volumen y número de nódulos) mostraron diferencias altamente significativas, lo cual nos indica que los cultivares estudiados tienen diferente capacidad de nodular, y por ende de fijar el nitrógeno atmosférico por *Rhizobium*, mostrando los más altos valores los cultivares DOR 454, JU 93-7, ICTA San Martín y JU 93-5.

9. RECOMENDACIONES

1. Utilizar el cultivar JU 93-7 en programas de mejoramiento genético tendientes a mejorar la simbiosis leguminosas-Rhizobium en cultivares de frijol que posean altos rendimientos de grano.
3. Realizar investigaciones tendientes a determinar el punto máximo de utilización de la fijación biológica de nitrógeno del cultivar JU 93-7, y de otros cultivares que previamente se haya descubierto que presenten esta característica, haciendo variar factores como: inoculación con diferentes cepas de Rhizobium, efecto del tiempo en la toma de muestras a partir de la aplicación del fertilizante marcado con ^{15}N , diferentes condiciones de suelo y época del año.

10. BIBLIOGRAFIA

1. AGUILERA MEJIA, R.G.; RODAS HERNANDEZ, E.A.; 1987. Evaluación del potencial de fijación de nitrógeno por el método 15-N₂, de 20 líneas preseleccionadas de frijol. In Reunión Anual de Fitopatología (27, 1987, Guatemala); Reunión de Fijación Biológica de Nitrógeno (1, 1987, Guatemala). Resúmenes. Guatemala, ICTA; Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p 46.
2. AXMANN, H.; ZAPATA, F. 1990. Isótopos estables y radiactivos. In Empleo de Técnicas Nucleares en los Estudios de la Relación Suelo-Planta. Editado por G. Hardarson. Seidersdorf, Austria, FAO/OIEA. Colección de cursos de capacitación, no.2. p 9-12.
3. BARTHOLOMEW, W. 1972. El nitrógeno del suelo, procesos de abastecimiento y enriquecimiento de los cultivos. EE.UU., International Soilfertility Evaluation Program. Boletín técnico no.61. 97 p.
4. CIAT RHIZOBIUM COLLECTION (Col.) 1980. Section 2 strains for *P. vulgaris* and other grain legumes. Colombia. p. 12;21.
5. CURSO INTENSIVO DE EVALUACION, SELECCION Y MANEJO DE SISTEMAS LEGUMINOSAS RIZOBIO PARA AUMENTAR LA FIJACION DE NITROGENO (1985, Porto Alegre, Brasil). 1985. Guía de estudios. Colombia, CIAT; Universidad de Río Grande, Facultad de Agronomía, Depto. de Suelos. 71 p.
6. CHONAY, J.J. 1977. Relación de nitrógeno aplicado al suelo y la variación del contenido de proteína en el grano de frijol. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 36 p.
7. FASSBENDER, H.W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, C.R., IICA. 398 p.
8. FERRERA CERRATO, R. 1989. Fijación simbiótica de nitrógeno Rhizobium-leguminosa; Colegio de postgraduados, Chapingo México. In Curso Regional Sobre Uso de Técnicas Isotópicas en Estudios de Fertilidad de Suelos Fertilizantes (1989, Santiago, Chile). Técnicas isotópicas en estudios de fertilidad del suelo y nutrición de plantas. Editores F. Zapata; M.E. Rhum. Viena, Austria, FAO/OIEA. p. 595-609.
9. GUATEMALA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1990. Recomendaciones técnicas agropecuarias. Región V. 95 p.

10. ----- . Datos meteorologicos del Centro de Producción Agrícola de Chimaltenango del año 1,990 a 1,994.

Sin publicar.
11. ----- . Informe sobre variedades de frijol próximas a liberarse, 1995.

Sin publicar.
12. HARDASON, G.; DANSO, S.K.A. 1990. Evaluación de la fijación biológica del N mediante la metodología del N-15. In Empleo de Técnicas Nucleares en los Estudios de la Relación Suelo-Planta. Editado por G. Hardarson. Seidersdorf, Austria, FAO/OIEA. Colección de cursos de capacitación, no.2. p 173-215.
13. ----- . et al. 1990. Genotypic variation in nitrogen fixation by Phaseolus vulgaris L. In Proceedings of an International Symposium on the Use of Stable Isotopes in Plant Nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies (1990, Vienna, Austria). 1991. Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies. Roma, Italia, FAO/IAEA. p. 179-191.
14. HOLDRIDGE, L.R. 1959. Mapa ecológico de Guatemala. San José, C.R., Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 215 p.
15. LA-ROSA LA ROSA, J.; OMCROS DELGADO, O. 1982. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la inoculación de Azotobacter y Rhizobium Phaseoli en el rendimiento y contenido de nitrógeno de frijol. Perú, Relar. p. 110.
16. LITTLE, T.M.; JACKSON HILLS, F. 1989. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 3 ed. México, Trillas. 270 p.
17. 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 ICTA (1994, Guatemala). Guatemala, Sector Agropecuario y de Alimentación, ICTA. p. 75-77.
18. REUNION LATINOAMERICANA DE Rhizobium (12, 1986, Brasil). 1986. Rhizobium. Brasil, ANAIS. 750 p.

19. ROSAS, J.C.; ROBLETO, E.A.; VARELA, O.I.; 1990. Estudios genéticos del crecimiento, fijación de nitrógeno y rendimiento de grano en frijol común. In Reunión Latinoamericana de Rhizobiología (15, 1990, Guatemala). Resúmenes. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Asociación Latinoamericana de Rhizobiología. p. 45.
20. SAFO, E.Y. 1993. Evaluation of symbiotic nitrogen fixation by rhizobial strains in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using the ^{15}N isotope dilution method. Journal of the Kumasi University of Science and Technology (Ghana) 13(1):1-5.
21. SANABRIA, C.A. 1991. Genotypic variation in biological nitrogen fixation by common bean. In Enhancement of Biological Nitrogen Fixation of Common Bean in Latin America. Guatemala, FAO/IAEA, Coordinated Research Programme. p 64-65.
22. SEBASTIANELLI A. 1989. Técnica de empleo del isótopo estable del nitrógeno, ^{15}N , como trazador-técnicas analíticas. In Curso Regional Sobre Uso de Técnicas Isotópicas en Estudios de Fertilidad de Suelos y Fertilizantes (1989, Santiago, Chile). Técnicas isotópicas en estudios de fertilidad del suelo y nutrición de plantas. Editores F. Zapata; M.E. Rhum. Viena, Austria, FAO/OIEA. p. 526-553.
23. SIMMONS, CH.S.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, ed. José de Pineda Ibarra. p. 431-435 pp.
24. VIDOR, C. 1983. Fixação biológica do nitrógeno per la simbiosis entre Rhizobium e leguminosas. Brasil, IPAGRO. Boletín Técnico no. 11. p. 10.
25. ZAPATA, F. 1989. Uso de las técnicas trazadoras con ^{15}N en la medida cuantitativa de la absorción de N por el cultivo del trigo. In Curso Regional Sobre Uso de Técnicas Isotópicas en Estudios de Fertilidad de Suelos y Fertilizantes (1989, Santiago, Chile). 1989. Técnicas isotópicas en estudios de fertilidad del suelo y nutrición de plantas. Editores F. Zapata; M.E. Rhum. Viena, Austria, FAO/OIEA. p. 508-524.

Vº. Bº.

Miriam De la Roca



11. APENDICE

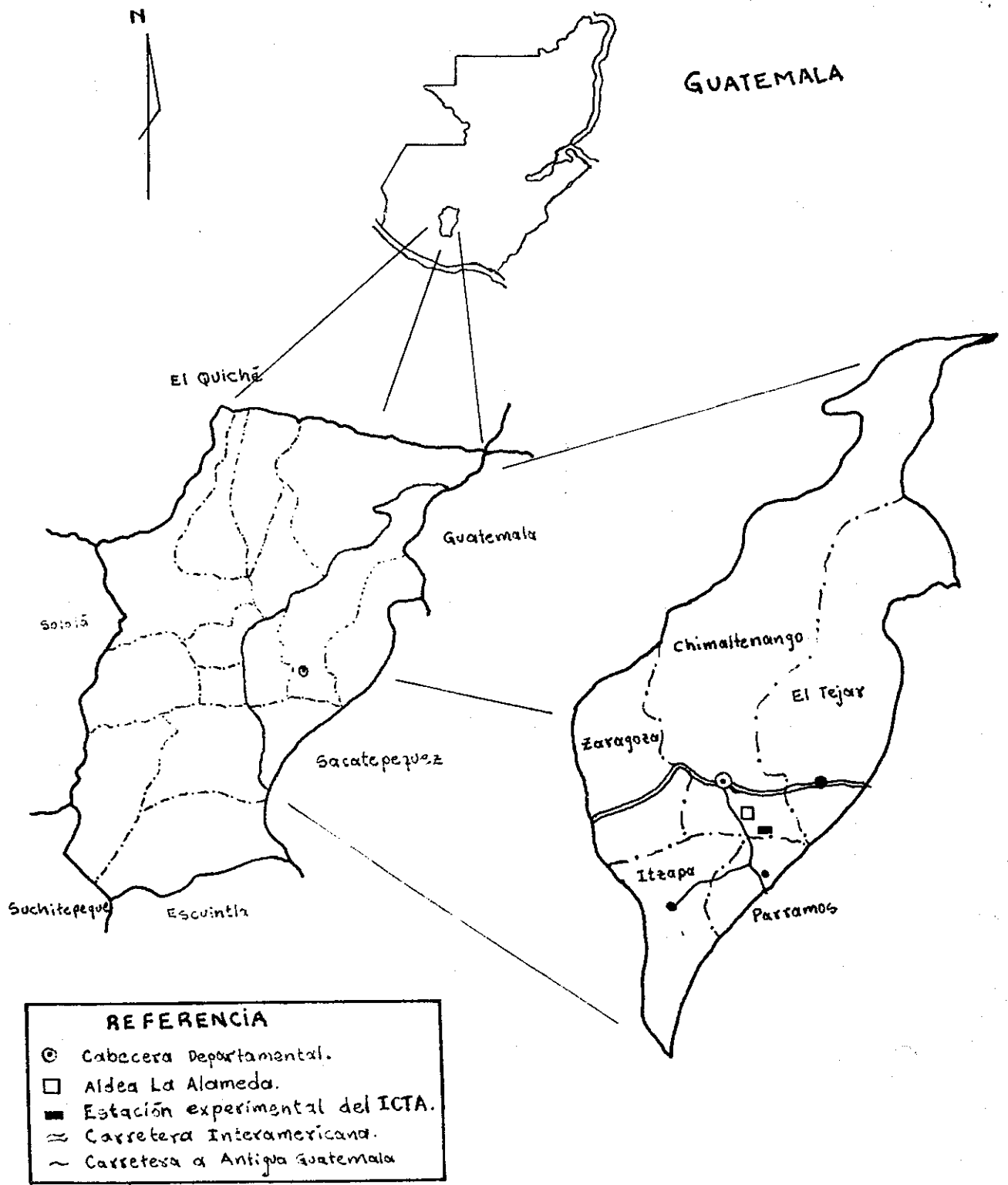
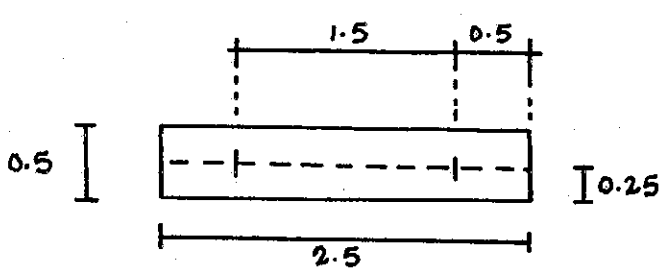


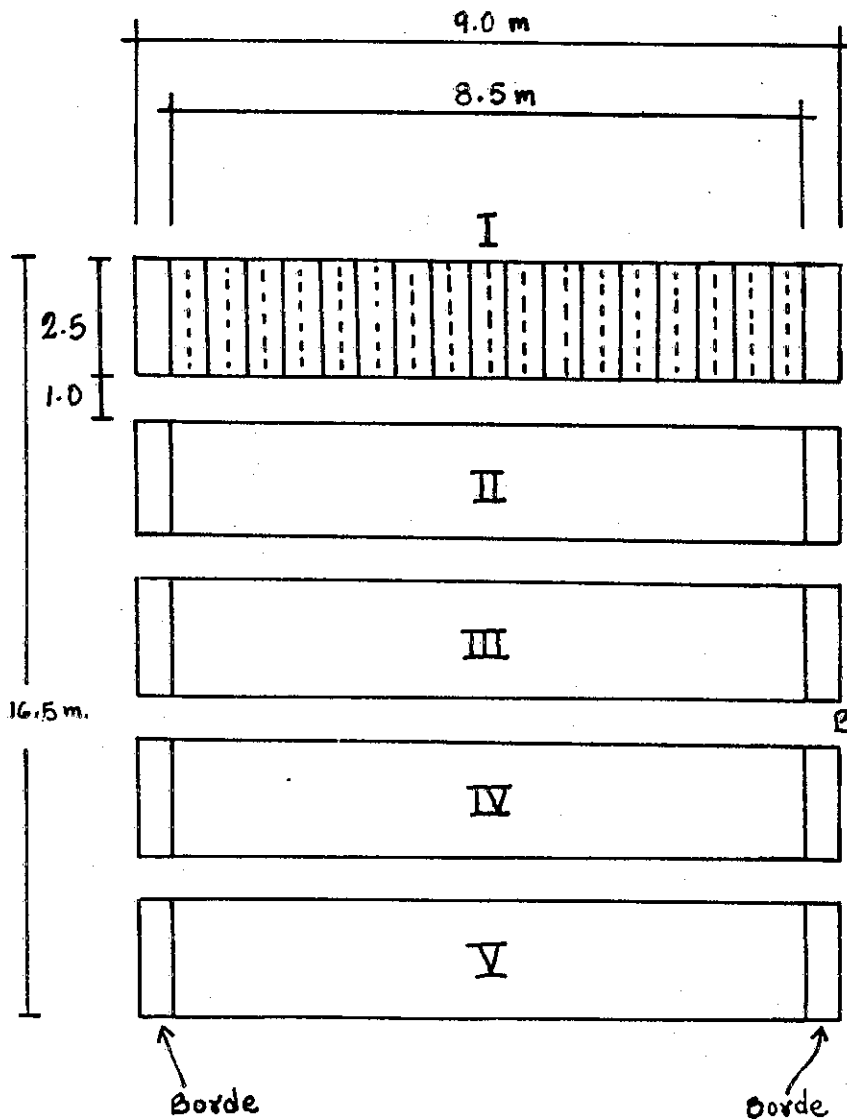
FIGURA 7A. Localización Geográfica del Area Experimental

FIGURA 8A. UNIDAD EXPERIMENTAL Y AREA DEL EXPERIMENTO.



"Unidad Experimental"

- Area Bruta 1.25 m²
- Area Neta 0.75 m²
- Escala 1:50



Pendiente
y
Dirección
de
Surcos

"Area Experimental"

- U.E. 80.0
- A. Bruta/Bloque 20.0 m²
- A. Bruta Total 100.0 m²
- A. Tot. del exp 148.5 m²
- Escala 1:155

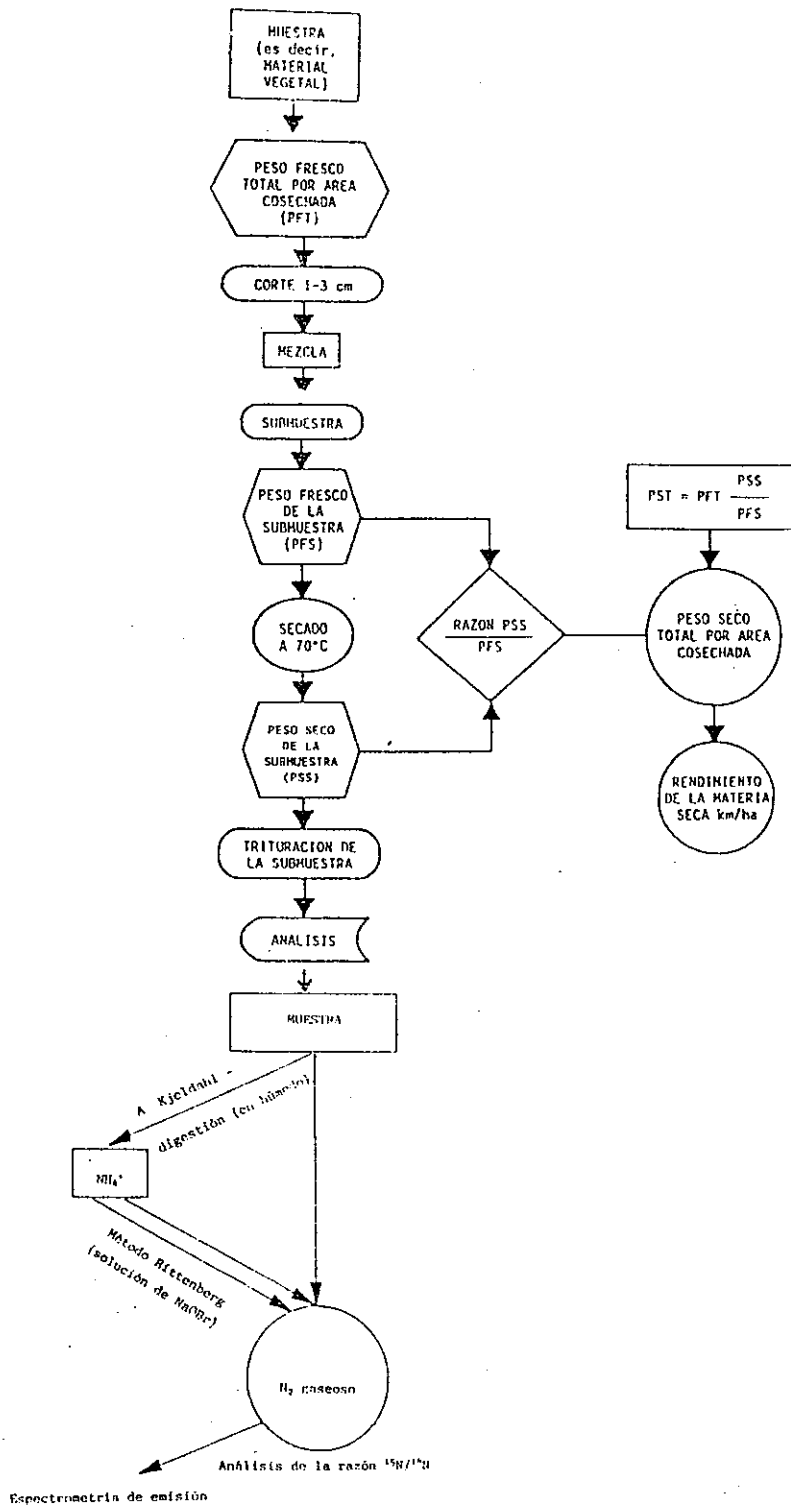


Figura 9A.

Diagrama de flujo de la toma de muestras y submuestras en el experimento isotópico.

CUADRO 18A Registro de datos obtenidos de las muestras y sub-muestras, en campo y laboratorio (Repetición I)

Treat.	Cultivar	PFT (grs)	PFS (grs)	PSS (grs)	PSS/PFS (Razon)	PST (grs)	Rendimiento Kg. M.S./ha
1.	ICTA-Costena	572.40	381.60	55.78	0.15	83.67	1115.60
2.	DOR 453	528.90	352.60	58.20	0.17	87.30	1164.00
3.	DOR 454	711.15	474.10	66.52	0.14	99.78	1330.40
4.	JU 93-1	433.35	288.90	39.00	0.13	58.50	780.00
5.	JU 93-7	873.15	582.10	90.89	0.16	138.49	1819.80
6.	JU 93-4	513.30	342.20	51.70	0.15	77.55	1034.00
7.	ICTA-Achuapa	646.85	431.10	61.00	0.14	91.50	1220.00
8.	ICTA Sta Gert.	615.60	410.40	59.89	0.15	89.84	1187.60
9.	ICTA Chapina	577.50	385.00	50.65	0.13	75.98	1013.00
10.	DOR 448	358.20	238.80	39.22	0.16	58.83	784.40
11.	ICTA JU 93-5	1003.65	669.10	90.50	0.14	135.75	1810.00
12.	ICTA JU 90-7	552.15	368.10	47.23	0.13	70.85	944.60
13.	DOR 500	727.65	485.10	78.28	0.16	114.42	1525.60
14.	DOR 445	529.50	353.00	58.36	0.17	87.54	1167.20
15.	ICTA Sn Martin	682.85	441.90	51.30	0.12	76.95	1026.00
Ref.	CIAT-125	681.45	454.30	57.70	0.13	86.55	1154.00

CUADRO 19A Registro de datos obtenidos de las muestras y sub-muestras, en campo y laboratorio (Repetición II)

Treat.	Cultivar	PFT (grs)	PFS (grs)	PSS (grs)	PSS/PFS (Razon)	PST (grs)	Rendimiento Kg. M.S./ha
1.	ICTA-Costena	321.00	214.00	33.93	0.16	50.90	678.60
2.	DOR 453	416.50	279.00	47.97	0.17	71.98	959.40
3.	DOR 454	550.95	367.30	54.28	0.15	81.42	1085.60
4.	JU 93-1	456.00	304.00	45.70	0.15	68.55	914.00
5.	JU 93-7	671.70	447.80	66.54	0.15	99.81	1330.60
6.	JU 93-4	636.30	424.20	65.30	0.15	97.85	1306.00
7.	ICTA-Achuapa	525.15	350.10	54.80	0.16	82.20	1098.00
8.	ICTA Sta Gert.	518.70	345.80	51.92	0.15	77.88	1038.40
9.	ICTA Chapina	570.80	380.60	55.60	0.15	83.40	1112.00
10.	DOR 448	564.45	376.30	57.73	0.15	86.60	1154.60
11.	ICTA JU 93-5	486.50	311.00	45.89	0.15	68.84	917.60
12.	ICTA JU 90-7	400.95	267.30	36.28	0.14	57.42	765.60
13.	DOR 500	498.75	332.50	54.12	0.16	81.18	1082.40
14.	DOR 445	566.05	378.70	61.31	0.16	91.97	1226.20
15.	ICTA Sn Martin	420.45	280.30	39.60	0.14	59.40	792.00
Ref.	CIAT-125	515.25	343.50	41.88	0.12	62.82	837.60

CUADRO 20A Registro de datos obtenidos de las muestras y sub-muestras, en campo y laboratorio (Repetición III)

Trat.	Cultivar	PFT (grs)	PFS (grs)	PSS (grs)	PSS/PFS (Razon)	PST (grs)	Rendimiento Kg. M. S./ha
1.	ICTA-Costena	444.30	298.20	49.99	0.17	74.99	999.80
2.	DOR 453	452.55	301.70	52.20	0.17	78.30	1044.00
3.	DOR 454	494.40	329.60	51.50	0.16	77.25	1030.00
4.	JU 93-1	410.70	273.80	41.00	0.15	61.50	820.00
5.	JU 93-7	619.50	413.00	62.47	0.15	93.71	1249.40
6.	JU 93-4	518.55	345.70	51.70	0.15	77.55	1034.00
7.	ICTA-Achuapa	293.10	195.40	31.30	0.16	48.95	626.00
8.	ICTA Sta Gert.	535.65	357.10	58.02	0.16	84.03	1120.40
9.	ICTA Chapina	490.95	327.30	49.56	0.15	74.34	991.20
10.	DOR 448	507.75	338.50	51.52	0.15	77.28	1030.40
11.	ICTA JU 93-5	503.70	335.80	50.84	0.15	76.26	1018.80
12.	ICTA JU 90-7	553.05	368.70	52.98	0.14	79.47	1059.60
13.	DOR 500	417.15	278.10	44.68	0.16	68.99	893.20
14.	DOR 445	487.95	325.30	53.07	0.16	79.61	1061.40
15.	ICTA Sn Martin	599.25	399.50	55.20	0.14	82.60	1104.00
Ref.	CIAT-125	534.00	358.00	46.60	0.13	69.90	932.00

CUADRO 21A Registro de datos obtenidos de las muestras y sub-muestras, en campo y laboratorio (Repetición IV)

Trat.	Cultivar	PFT (grs)	PFS (grs)	PSS (grs)	PSS/PFS (Razon)	PST (grs)	Rendimiento Kg. M. S./ha
1.	ICTA-Costena	448.50	299.00	48.57	0.16	72.88	971.40
2.	DOR 453	531.15	354.10	57.60	0.16	86.70	1156.00
3.	DOR 454	441.90	294.60	47.98	0.16	71.97	959.60
4.	JU 93-1	231.00	154.00	25.30	0.16	37.95	506.00
5.	JU 93-7	492.45	328.30	51.68	0.16	77.52	1033.60
6.	JU 93-4	390.90	260.60	42.10	0.16	63.15	842.00
7.	ICTA-Achuapa	328.35	218.90	34.40	0.16	51.60	688.00
8.	ICTA Sta Gert.	334.05	222.70	36.41	0.16	54.61	728.20
9.	ICTA Chapina	339.00	226.00	33.41	0.15	50.12	668.20
10.	DOR 448	496.35	330.90	54.15	0.16	81.23	1083.00
11.	ICTA JU 93-5	510.30	340.20	54.80	0.16	82.20	1098.00
12.	ICTA JU 90-7	439.95	293.30	45.08	0.15	67.62	901.60
13.	DOR 500	404.25	269.50	42.98	0.16	64.47	859.60
14.	DOR 445	245.70	163.80	29.98	0.16	44.94	599.20
15.	ICTA Sn Martin	459.45	306.30	43.70	0.14	65.55	874.00
Ref.	CIAT-125	501.00	334.00	45.60	0.14	66.40	912.00

CUADRO 22A Registro de datos obtenidos de las muestras y sub-muestras, en campo y laboratorio (Repetición V)

Trat.	Cultivar	PFT (grs)	PFS (grs)	PSS (grs)	PSS/PFS (Razon)	PST (grs)	Rendimiento Kg. M. S./ha
1.	ICTA-Costena	329.40	219.60	35.18	0.16	52.77	703.60
2.	DOR 453	241.65	161.10	29.04	0.18	43.56	580.80
3.	DOR 454	388.50	259.00	42.08	0.16	63.12	841.60
4.	JU 93-1	284.10	189.40	28.20	0.15	42.30	564.00
5.	JU 93-7	411.90	274.60	43.08	0.16	64.62	861.60
6.	JU 93-4	342.90	226.60	36.80	0.16	55.20	736.00
7.	ICTA-Achuapa	302.10	201.40	33.36	0.17	50.07	667.60
8.	ICTA Sta Gert.	318.15	212.10	35.66	0.17	53.79	717.20
9.	ICTA Chapina	287.25	191.50	30.43	0.16	45.65	608.60
10.	DOR 448	330.00	220.00	35.52	0.16	53.28	710.40
11.	ICTA JU 93-5	327.90	218.60	36.43	0.17	54.65	726.60
12.	ICTA JU 90-7	303.00	202.00	31.22	0.15	46.83	624.40
13.	DOR 500	322.80	215.20	36.05	0.17	54.07	721.00
14.	DOR 445	318.45	212.30	34.14	0.16	51.21	682.60
15.	ICTA Sn Martin	459.00	306.00	42.50	0.14	63.75	850.00
Ref.	CIAT-125	193.80	129.20	19.01	0.15	28.52	380.20

PFT = Peso fresco total.

PFS = Peso fresco de la sub-muestra.

PSS = Peso seco de la sub-muestra.

PST = Peso seco total.

CUADRO 23A. Registro de datos obtenidos de los cultivares fijadores (frijol) y no fijadores de nitrógeno (CIAT-125) para determinar su potencial de fijación biológica de nitrógeno. (Repetición I).

Trat.	Cultivar	Rendim de M.S. (Kg/ha)	N Total (%)	Rendim de N (Kg/ha)	s.e.de N-15 (%)	Nddf (%)	Nddf (Kg/ha)	Ndda (%)	N fijado (Kg/ha)	Ndds (%)	Ndds (Kg/ha)
1	ICTA-Costena	1115.60	3.26	36.37	1.08	21.53	7.93	50.07	12.21	28.40	10.33
2	DOR 453	1164.00	3.10	36.08	1.41	29.59	10.31	33.71	12.16	37.71	13.61
3	DOR 454	1330.40	3.73	49.62	1.08	21.57	10.70	49.98	24.80	29.46	14.12
4	JU 93-1	790.00	3.56	27.77	1.67	33.77	9.38	21.67	6.02	44.56	12.37
5	JU 93-7	1819.80	3.32	60.42	0.99	17.96	10.85	59.35	35.25	23.70	14.32
6	JU 93-4	1034.00	3.16	32.67	1.52	31.96	10.44	25.96	9.45	42.18	13.78
7	ICTA-Achuap	1220.00	3.62	44.16	1.27	25.70	11.35	40.39	17.94	33.91	14.98
8	ICTA Sta Gert.	1197.80	3.10	37.13	1.30	26.38	9.80	38.72	14.40	34.82	12.83
9	ICTA-Chapina	1013.00	3.33	33.73	1.48	30.02	10.13	30.37	10.25	39.61	13.36
10	DOR 448	784.40	3.29	25.91	1.42	28.68	7.40	33.47	8.84	37.85	9.77
11	ICTA JU 93-5	1910.00	3.37	61.00	0.94	16.92	10.32	60.74	37.05	22.33	13.62
12	ICTA JU 90-7	944.60	3.79	35.80	1.49	29.94	10.72	30.56	10.84	39.50	14.14
13	DOR 500	1325.60	3.26	49.73	0.78	15.97	7.89	63.19	31.43	20.94	10.42
14	DOR 445	1167.20	3.38	39.45	1.17	23.67	9.34	45.09	17.79	31.24	12.32
15	ICTA Sn Marti	1026.00	3.31	33.96	1.10	22.21	7.54	48.47	16.46	29.31	9.96
Ref.	CIAT-125	1154.00	2.88	33.00	2.13						

CUADRO 24A. Registro de datos obtenidos de los cultivares fijadores (frijol) y no fijadores de nitrógeno (CIAT-125) para determinar su potencial de fijación biológica de nitrógeno (Repetición II).

Trat.	Cultivar	Rendim de M.S. (Kg/ha)	N Total (%)	Rendim de N (Kg/ha)	s.e.de N-15 (%)	Nddf (%)	Nddf (Kg/ha)	Ndda (%)	N fijado (Kg/ha)	Ndds (%)	Ndds (Kg/ha)
1	ICTA-Costena	879.60	3.47	23.55	1.84	33.14	7.80	23.13	5.45	43.73	10.30
2	DOR 453	959.40	3.42	32.81	1.57	31.84	10.45	26.14	9.58	42.02	13.79
3	DOR 454	1095.60	3.81	41.36	1.42	28.70	11.97	33.43	13.83	37.87	15.66
4	JU 93-1	914.00	3.45	31.53	1.78	35.57	11.22	17.49	5.51	46.94	14.90
5	JU 93-7	1330.80	3.27	43.52	1.21	24.59	10.70	42.97	19.70	32.44	14.12
6	JU 93-4	1306.00	3.56	46.49	1.38	28.03	13.03	34.99	16.26	36.99	17.20
7	ICTA-Achuap	1096.00	3.33	37.04	1.55	31.44	11.65	27.08	10.03	41.48	15.37
8	ICTA Sta Gert.	1039.40	3.76	39.04	1.50	30.39	11.96	29.53	11.53	40.09	15.65
9	ICTA-Chapina	1112.00	3.09	34.36	1.46	29.63	10.18	31.26	10.74	39.10	13.44
10	DOR 448	1154.60	4.03	46.53	1.08	21.48	10.00	50.16	23.34	28.35	13.19
11	ICTA JU 93-5	917.80	3.19	29.28	1.46	29.57	8.66	31.41	9.19	39.02	11.42
12	ICTA JU 90-7	765.60	2.91	22.28	1.95	39.54	9.81	9.27	1.94	52.18	11.63
13	DOR 500	1092.40	3.21	34.75	1.14	23.19	9.08	46.22	16.08	30.60	10.63
14	DOR 445	1226.20	3.42	41.94	1.08	21.40	9.98	50.35	21.12	29.24	11.84
15	ICTA Sn Marti	792.00	3.00	23.76	1.68	33.73	9.01	21.77	5.17	44.51	10.57
Ref.	CIAT-125	837.60	3.71	31.07	2.13						

CUADRO 25A. Registro de datos obtenidos de los cultivares fijadores (frijol) y no fijadores de nitrógeno (CIAT-125) para determinar su potencial de fijación biológica de nitrógeno (Repetición III).

Trat.	Cultivar	Rendim de M.S. (Kg/ha)	N Total (%)	Rendim de N (Kg/ha)	a.e.de N-15 (%)	Nddf (%)	Nddf (Kg/ha)	Ndda (%)	N fijado (Kg/ha)	Ndds (%)	Ndds (Kg/ha)
1	ICTA-Coatena	999.90	3.45	34.49	1.46	29.53	10.19	31.50	10.97	38.97	13.44
2	DOR 453	1044.00	3.20	33.41	1.56	31.54	10.54	28.95	9.97	41.62	13.90
3	DOR 454	1030.00	3.29	33.89	1.59	32.29	10.94	25.11	9.51	42.61	14.44
4	JU 93-1	920.00	3.74	30.67	1.62	32.86	10.08	23.79	7.30	43.35	13.30
5	JU 93-7	1249.40	3.19	39.73	0.80	19.26	7.26	57.64	22.90	24.10	9.57
6	JU 93-4	1034.00	3.11	32.16	1.44	29.23	9.40	32.20	10.36	39.57	12.40
7	ICTA-Achuap	626.00	3.06	19.16	1.87	37.82	7.24	12.27	2.35	49.91	9.56
8	ICTA Sta Gert.	1120.40	3.41	39.21	1.18	23.90	9.13	44.57	17.03	31.53	12.05
9	ICTA-Chapina	891.20	2.92	28.94	1.66	33.59	9.72	22.10	6.40	44.32	12.83
10	DOR 448	1030.40	3.42	35.24	1.49	30.20	10.64	29.95	10.55	39.85	14.04
11	ICTA JU 93-5	1016.90	3.64	37.01	1.26	25.54	9.45	40.78	15.09	33.70	12.47
12	ICTA JU 90-7	1059.60	2.89	30.52	1.71	34.64	10.57	19.65	6.00	45.71	13.95
13	DOR 500	893.20	3.42	30.55	1.46	29.67	9.06	31.17	9.52	39.16	11.96
14	DOR 445	1061.40	3.05	32.37	1.45	29.41	9.52	31.79	10.29	38.81	12.58
15	ICTA Sn Marti	1104.00	3.40	37.54	1.17	23.69	9.99	45.04	16.91	31.27	11.74
Ref.	CIAT-125	932.00	2.99	27.87	2.13						

CUADRO 26A. Registro de datos obtenidos de los cultivares fijadores (frijol) y no fijadores de nitrógeno (CIAT-125) para determinar su potencial de fijación biológica de nitrógeno (Repetición IV).

Trat.	Cultivar	Rendim de M.S. (Kg/ha)	N Total (%)	Rendim de N (Kg/ha)	a.e.de N-15 (%)	Nddf (%)	Nddf (Kg/ha)	Ndda (%)	N fijado (Kg/ha)	Ndds (%)	Ndds (Kg/ha)
1	ICTA-Coatena	971.40	3.54	34.39	1.51	30.55	10.50	29.15	10.02	40.31	13.96
2	DOR 453	1156.00	3.35	39.73	1.29	26.11	10.11	39.45	15.28	34.45	13.34
3	DOR 454	959.60	3.79	36.27	1.44	29.19	10.59	32.30	11.72	39.51	13.97
4	JU 93-1	506.00	3.67	19.57	1.91	36.75	6.92	14.76	2.74	48.49	9.00
5	JU 93-7	1033.60	3.31	34.21	1.37	27.71	9.46	35.73	12.22	36.56	12.51
6	JU 93-4	842.00	3.54	29.91	1.74	35.23	10.50	19.29	5.45	46.48	13.86
7	ICTA-Achuap	699.00	3.57	24.56	1.95	39.50	9.70	9.37	2.06	52.13	12.90
8	ICTA Sta Gert.	729.20	3.77	27.45	1.34	27.19	7.46	38.95	10.14	35.97	9.95
9	ICTA-Chapina	689.20	3.44	22.99	1.66	33.59	7.72	22.10	5.09	44.32	10.19
10	DOR 448	1023.00	3.70	40.07	1.57	31.90	12.74	26.23	10.51	41.98	16.82
11	ICTA JU 93-5	1036.00	3.69	40.33	1.26	25.46	10.27	40.95	16.52	33.59	13.55
12	ICTA JU 90-7	901.60	3.08	27.77	1.70	34.39	9.55	20.26	5.63	45.36	12.60
13	DOR 500	859.60	3.60	30.95	1.53	31.07	9.62	27.93	9.64	41.00	12.69
14	DOR 445	599.20	3.53	21.15	1.33	27.04	5.72	37.29	7.99	35.69	7.55
15	ICTA Sn Marti	974.00	3.34	29.19	1.50	30.39	8.87	29.53	9.62	40.09	11.70
Ref.	CIAT-125	912.00	3.27	29.82	2.13						

CUADRO 27A. Registro de datos obtenidos de los cultivares fijadores (frijol) y no fijadores de nitrógeno (CIAT-125) para determinar su potencial de fijación biológica de nitrógeno (Repetición V).

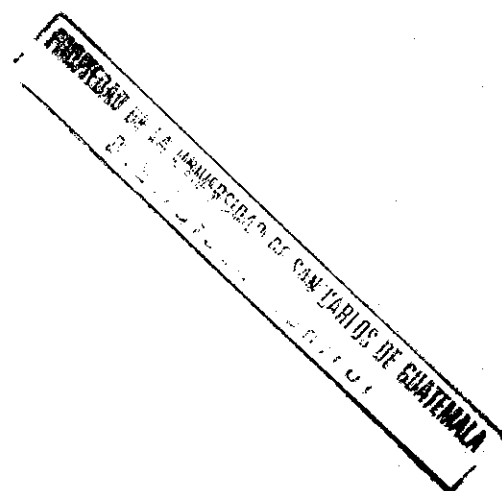
Trat.	Cultivar	Rendim de M.S. (Kg/ha)	N Total (%)	Rendim de N (Kg/ha)	a.e.de N-15 (%)	Nddf (%)	Nddf (Kg/ha)	Ndda (%)	N fijado (Kg/ha)	Ndds (%)	Ndds (Kg/ha)
1	ICTA-Coatena	703.60	4.94	34.05	1.65	33.38	11.37	22.57	7.69	44.05	15.00
2	DOR 453	590.80	3.74	21.72	1.46	29.51	6.41	31.55	6.95	39.94	9.46
3	DOR 454	841.60	3.76	31.64	1.47	29.94	9.44	30.79	9.74	39.37	12.46
4	JU 93-1	564.00	3.97	21.93	1.90	39.43	9.39	10.96	2.37	50.71	11.07
5	JU 93-7	961.60	2.99	25.76	1.93	39.10	10.07	9.31	2.40	51.59	13.29
6	JU 93-4	736.00	3.47	25.54	1.92	39.98	9.93	9.93	2.51	51.30	13.10
7	ICTA-Achuap	667.60	3.43	22.90	1.90	38.49	9.91	10.72	2.45	50.79	11.63
8	ICTA Sta Gert.	717.20	3.52	25.25	1.69	34.34	9.67	20.36	5.14	45.31	11.44
9	ICTA-Chapina	609.60	3.56	21.67	2.02	40.92	8.99	4.94	1.07	54.09	11.72
10	DOR 448	710.40	3.59	24.09	1.43	29.90	6.96	32.96	7.94	39.14	9.19
11	ICTA JU 93-5	728.60	3.96	28.85	1.71	34.74	10.02	19.42	5.60	45.94	13.23
12	ICTA JU 90-7	624.40	3.55	22.17	1.95	39.59	8.77	9.18	1.91	52.23	11.59
13	DOR 500	721.00	3.81	27.47	1.62	32.77	9.00	23.99	6.59	43.25	11.99
14	DOR 445	692.90	3.99	27.19	1.66	33.67	9.15	21.91	5.95	44.42	12.07
15	ICTA Sn Marti	950.00	3.58	30.43	1.10	22.38	6.91	49.10	14.64	29.53	9.99
Ref.	CIAT-125	390.20	2.94	11.19	2.13						

Nddf = nitrógeno derivado del fertilizante.

Ndda = nitrógeno derivado de la fijación atmosférica.

Ndds = nitrógeno derivado del suelo.

M.S. = materia seca.



CUADRO 28A. ANDEVA del rendimiento de materia seca (kgs/ha)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	2038097.30	509524.57	2.47	1.89	2.43
Tratamientos	14	1086030.12	77573.58			
Error	56	1755728.57	31352.30	**		
Total	74	4879856.98				

C.V. = 18.43 %

** = Diferencias altamente significativas.

CUADRO 29A. ANDEVA del rendimiento de nitrógeno total.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	1687.975	421.994	2.01	1.89	2.43
Tratamientos	14	1247.415	89.101			
Error	56	2478.307	44.255	*		
Total	74	5413.697				

C.V. = 20.17 %

* = Diferencias significativas.

CUADRO 30A. ANDEVA para el nitrógeno derivado del aire (NDDA) expresado en porcentaje.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	1592.97	398.24	4.24	1.89	2.43
Tratamientos	14	2074.29	148.16			
Error	56	1955.33	34.92	**		
Total	74	5262.60				

C.V. = 17.86 %

** = Diferencias altamente significativas.

Nota = Datos transformados a valores angulares mediante

$$\text{Arcoseno} = \text{Sen}^{-1} \sqrt{(X/100)}$$

CUADRO 31A. ANDEVA para el nitrógeno derivado del aire (NDDA) expresado en kgs/ha.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	1262.420	315.601	2.78	1.89	2.43
Tratamientos	14	1120.814	80.058			
Error	56	1612.735	28.798	**		
Total	74	3995.969				

C.V. = 45.0 %

** = Diferencias altamente significativas.

CUADRO 32A. ANDEVA para el nitrógeno derivado del suelo (NDDS) expresado en porcentaje.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	423.98	105.99	3.94	1.89	2.43
Tratamientos	14	543.91	38.85			
Error	56	552.81	9.87	**		
Total	74	1520.71				

C.V. = 8.09 %

** = Diferencias altamente significativas.

Nota = Datos transformados a valores angulares mediante

$$\text{Arcoseno} = \text{Sen}^{-1} \sqrt{(X/100)}$$

CUADRO 33A. ANDEVA para el nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF) expresado en porcentaje.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	275.23	68.81	3.74	1.89	2.43
Tratamientos	14	347.47	24.82			
Error	56	372.02	6.64	**		
Total	74	994.72				

C.V. = 15.03 %

** = Diferencias altamente significativas.

Nota = Datos transformados a valores angulares mediante

$$\text{Arcoseno} = \text{Sen}^{-1} \sqrt{(X/100)}$$

CUADRO 34A. ANDEVA para el nitrógeno derivado del suelo (NDDS) expresado en kgs/ha.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	21.174	5.293	1.20	1.89	2.43
Tratamientos	14	59.441	4.246			
Error	56	197.538	3.527	N.S.		
Total	74	278.15				

C.V. = 15.02 %

N.S. = No existen diferencias significativas.

CUADRO 35A. ANDEVA para el nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF) expresado en kgs/ha.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	12.193	3.048	1.20	1.89	2.43
Tratamientos	14	34.137	2.438			
Error	56	113.477	2.026	N.S.		
Total	74	159.806				

C.V. = 15.03 %

N.S. = No existen diferencias significativas.

CUADRO 36A. ANDEVA para el peso fresco de nódulos.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	9.112	2.278	4.66	1.89	2.43
Tratamientos	14	110.189	7.871			
Error	56	94.592	1.689	**		
Total	74	213.893				

C.V. = 18.36 %

** = Diferencias altamente significativas.

CUADRO 37A. ANDEVA para el peso seco de nódulos.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	0.385	0.096	4.24	1.89	2.43
Tratamientos	14	4.727	0.338			
Error	56	4.456	0.079	**		
Total	74	9.568				

C.V. = 19.94 %

** = Diferencias altamente significativas.

CUADRO 38A. ANDEVA para el volumen relativo de nódulos.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	16.481	4.120	5.69	1.89	2.43
Tratamientos	14	389.378	27.813			
Error	56	273.656	4.887	**		
Total	74	679.515				

C.V. = 17.46 %

** = Diferencias altamente significativas.

CUADRO 39A. ANDEVA para el número de nódulos.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Bloques	4	190.545	47.636	5.04	1.89	2.43
Tratamientos	14	699.585	49.970			
Error	56	554.933	9.909	**		
Total	74	1445.064				

C.V. = 12.60 %

** = Diferencias altamente significativas.

Nota = Datos transformados de variable discreta a continua, mediante la fórmula \sqrt{X}

CUADRO 40A. ANDEVA del rendimiento de grano g/ha

F.E.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	0.05	0.01
Bloques	4	3304596.25	826149.06	9.83	1.89	2.43
Tratamientos	14	6753080.88	482362.92			
Error	56	2747017.54	49053.88	**		
Total	74	12804694.67				

C.V. = 20.0 %

** = Diferencias altamente significativas.

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

Nombre de la Finca Estación Expe. ICTA.

Aldea más cercana Chimú/kenango.

Municipio Chimú/kenango.

Departamento ICTA.

Agricultor ICTA.

DIRECCION A DONDE SE ENVIARAN LOS RESULTADOS

Nombre ICTA.

Dirección Chimú/kenango.

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

Campo No.	2	3	11	10					
Muestra No.	2	3	11	10					
Area que representa cada muestra	1 Ha.	1 Ha.	1 Ha.	1 Ha.					
Cultivo Anterior	frijol	frijol	frijol	frijol					
Fertilizante usado (fórmula)	-	-	-	-					
Cuántos quintales usó por manzana	-	-	-	-					
Rendimiento que obtuvo	-	-	-	-					
Qué cultivo desea recomendación	frijol	frijol	frijol	frijol					
Mes que sembrará	Mayo	Mayo	Mayo	Mayo					
Edad si son cultivos perennes	-	-	-	-					

PARA USO EXCLUSIVO DEL LABORATORIO.

Muestra No.	Laboratorio	pH	Microgramos/ml.			Mg/100 ml de Suelo			Recomendación	
			P	K		Ca	Mg		Número	
1	939	6.5	14.60	201		5.61	0.80			
3	941	6.0	22.80	1102		5.61	1.08			
4	942	5.5	14.60	144		5.05	0.80			
	\bar{x}	6.0	17.23	169.0		5.42	0.89			

OBSERVACIONES

Rutina
 M.O.
 Nitrogeno

Margale Cobocho
 Laboratorio de Suelos

Fecha: 20/3/95

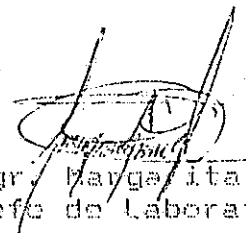
SECTOR PUBLICO AGROPECUARIO Y DE ALIMENTACION
INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS
LABORATORIO DE SUELOS
7a. AVENIDA 3-67 ZONA 13
TELEFONO: 720161
GUATEMALA, C.A.

OFICIO: LS-95-065
INTERESADO: ICTA
PROCEDENCIA: CHIMALTENAGO
INGRESO No.: 939-942
FECHA DE INGRESO: 20/3/95

DATOS DE LABORATORIO

INGRESO	M	M.O.
939	0.15	3.70
941	0.14	3.55
942	0.12	3.81
	$\bar{X} = 0.14$	3.69

Atentamente,

X 
Ing. Agr. Margarita de Colcho
Jefe de Laboratorio



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

Ref. Sem.017-96


LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO USANDO 15N COMO MARCADOR ISOTOPICO EN 15 CULTIVARES DE FRIJOL NEGRO (Phaseolus vulgaris L.) PROVENIENTE DEL ENSAYO CENTROAMERICANO DE ADAPTACION Y RENDIMIENTO".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: VICTOR HUGO CASTELLANOS AMADO.

CARNET No: 8817599

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Edgar Franco
 Ing. Agr. Adalberto Rodríguez
 Ing. Agr. Oscar Leiva

Los Asesores 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.

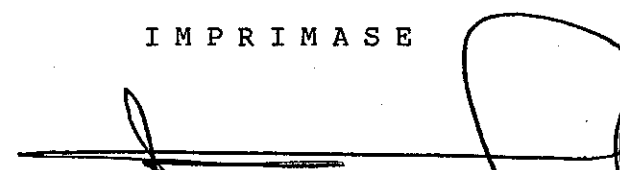

 Ing. M.Sc. Rolando Aguilera
 ASESOR


 Ing. Agr. María Antonieta Alfaro
 ASESOR


 Ing. Agr. Fernando Rodríguez
 DIRECTOR DEL IIA.



IMPRIMASE


 Ing. Agr. Rolando Lara Aledio
 DECANO



cc:Control Académico
 Archivo
 FR/prr.

APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C.A.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770

