

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



ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE DENSIDADES DE SIEMBRA Y EL SITIO
DE APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y FOSFORO
EN EL RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) VARIEDAD ICTA
LIGERO EN EL PARCELAMIENTO CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA

FLOR DE MARIA MAS GUILLÉN
CARNÉ: 9510250

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

**ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE DENSIDADES DE SIEMBRA Y EL SITIO
DE APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y FOSFORO
EN EL RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) VARIEDAD ICTA
LIGERO EN EL PARCELAMIENTO CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA**

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

FLOR DE MARÍA MAS GUILLÉN

En el acto de investidura como

INGENIERA AGRÓNOMA

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO DE ACADÉMICO DE LICENCIADA

Guatemala, octubre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO
VOCAL PRIMERO
VOCAL SEGUNDO
VOCAL TERCERO
VOCAL CUARTO
VOCAL QUINTO
SECRETARIO

Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez Vásquez
Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila
Br. Mirna Regina Valiente
Br. Nery Boanerges Guzmán Aquino
Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, octubre de 2007

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

Distinguidos miembros:

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

**ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE DENSIDADES DE SIEMBRA Y EL SITIO DE
APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y FOSFORO EN EL
RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) VARIEDAD ICTA LIGERO EN EL
PARCELAMIENTO CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA**

Presentado como requisito previo a optar el Título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente,

FLOR DE MARÍA MAS GUILLÉN

ACTO QUÉ DEDICO

- A: Dios por darme el regalo de la vida y brindarme la oportunidad de superarme, a él que Siempre ha estado a mi lado en tiempos duros y prósperos.**
- A: Mis padres Jorge Luís Mas Escalera
Angela Guillén Rodríguez con todo mi amor, por su incondicional apoyo y cariño.**
- A: Mi esposo Carlos Fernando Xol Belloso por su amor y dedicación.**
- A: Mis hijos Sophia Renné y Pavel Fernando por ser la fuerza y fuente de inspiración de mi vida, por todo su cariño y amor.**
- A: Mi hermana Marlene Angelita con aprecio y cariño.**
- A: Mis abuelos con cariño, en especial a Doña Rosita Rodríguez Vda. de Guillén por su Comprensión en todo momento.**
- A: Mis tíos y tías con mucho cariño, en especial a José Luís Guillén por ser un apoyo Importante para mí.**
- A: Mis primos y sobrinos con mucho cariño.**
- A: Mis suegros con especial aprecio.**
- A: Mis amigos Nadia Espinoza, Carlos Pérez, Mayra Gonzalez, Oscar Medinilla, Gerardo Navarro, José Gómez, Fernando Conde e Ingrid de Zepeda por su incondicional amistad.**

AGRADECIMIENTOS

- A Dios:** Por guiar en todo momento mis pasos.
- Universidad de San Carlos de Guatemala:** Casa de estudios, por la cual pase los mejores Momentos, la cual me brindo la oportunidad De ser una profesional, Gracias.
- Facultad de Agronomía:** Gracias por brindarme los conocimientos Adquiridos.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola ICTA:** Por el apoyo brindado.
- Ing. Agr. Macfarley Leroy (Q.E.P.D):** Por ser el precursor de esta investigación y Por causas mayores no pudo culminarlo, le Dedico esta tesis pues yo se que desde el Cielo usted lo vera, gracias ingeniero.
- Ing. Agr. Adán Rodas Cifuentes
Ing. Agr. Francisco Vásquez
Asesores de tesis:** Gracias por toda su colaboración y por Compartir sus conocimientos conmigo

INDICE GENERAL

NUMERO	CONTENIDO	Pag.
0	Indice de figuras	iii
	Indice de cuadros	vi
	Resumén	vii
1	Introducción	1
2	Definición del problema	2
3	Justificación de la investigación	3
4	Marco teórico	4
	4.1 Marco conceptual	4
	4.1.1 Importancia del cultivo del fríjol	4
	4.1.2 Clasificación botánica del fríjol	4
	4.1.3 Descripción de la planta de fríjol	5
	4.1.4 Características generales del desarrollo de la planta de fríjol	5
	4.1.5 Etapas de desarrollo del fríjol	6
	4.1.6 Arquitectura de la planta de fríjol	7
	A. Tipo I	7
	B. Tipo II	8
	C. Tipo III	8
	D. Tipo IV	8
	4.1.7 Densidad vegetal y rendimiento	9
	4.1.8 Componentes de rendimiento	10
	4.1.9 Importancia de la fertilización	10
	4.1.9.1 Nitrógeno (N)	12
	4.1.9.2 Fósforo (P)	13
	4.1.9.3 Potasio (K)	14
	4.1.10 Aspectos económicos sobre la práctica de Fertilización	15
	4.2 Marco referencial	16
	4.2.1 Características de los materiales experimentales	16
	4.2.1.1 Fríjol Variedad ICTA Ligero	16
	4.2.1.2 Características de los fertilizantes químicos Utilizados	16
	4.2.1.3 Características generales del suelo utilizado en el experimento	17
5	Objetivos	19
6	Hipótesis	20
7	Metodología	21

	7.1 Localización del área experimental	21
	7.2 Material experimental	22
	7.3 Factores estudiados y diseño de tratamientos	22
	7.4 Descripción de los tratamientos	23
	7.5 Diseño experimental	25
	7.6 Unidad experimental	25
	7.7 Manejo del experimento	25
	7.7.1 Preparación del terreno	26
	7.7.2 Trazo	26
	7.7.3 Siembra	26
	7.7.4 Fertilización	26
	7.7.5 Control de maleza	27
	7.7.5 Riego	27
	7.7.5 Control de plagas y enfermedades	27
	7.7.5 Cosecha	27
	7.7.5 Variables de respuesta	28
	a. Días a floración	28
	b. Días a madurez fisiológica	28
	c. Número de vainas por planta	28
	d. Número de granos por vaina	28
	e. Rendimiento de grano	28
	f. Peso de 100 semillas	28
	7.8 Análisis de la información	28
8	Resultados y discusión	29
	8.1 Días a floración	29
	8.2 Días a madurez fisiológica	29
	8.3 Número de vainas por planta	29
	8.4 Número de granos por vaina	32
	8.5 Rendimiento de grano	33
	8.6 Peso de 100 semillas	39
9	Conclusiones	49
10	Recomendaciones	51
11	Bibliografía	52
12	Anexos	54

INDICE DE FIGURAS

Número	Titulo	Pág.
1	Vainas por planta en evaluación de densidades de siembra y sitios de colocación del fertilizante formula 15-15-15 en variedad ICTA Ligero.	32
2	Vainas por planta en evaluación de densidades de siembra y fórmulas simples de fertilizantes en fríjol variedad ICTA Ligero.	33
3	Interacción niveles de fertilización por sitio de aplicación del fertilizante fórmula 20-20-0, para la variable rendimiento de grano en fríjol variedad ICTA Ligero.	37
4	Interacción densidad por niveles de N P ₂ O ₅ para la variable peso de 100 granos (g), en fríjol variedad ICTA Ligero.	43
5	Interacción densidad por sitio de aplicación del fertilizante 20-20-0 para la variable peso de 100 granos, en fríjol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	44
6	Interacción densidad de siembra por sitio de aplicación del fertilizante.	46
7	Interacción fuente fertilizante por densidad para la variable peso de 100 granos.	48
8	Localización del área experimental, Centro de Investigaciones ICTA Cuyuta, Managua, Escuintla.	21
9	Estructura de la herramienta denominada chuzo.	55

INDICE DE CUADROS

Número	Titulo	Pág
1	Resultado del análisis físico químico del suelo utilizado en el experimento.	18
2	Descripción de los tratamientos de densidad, nivel de fertilización y localización del fertilizante evaluado.	23
3	Vainas por planta en fríjol bajo diferentes tratamientos de densidades de población, niveles de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O y sitios de aplicación del fertilizante.	31
4	Granos por vaina en plantas de fríjol bajo diferentes tratamientos de densidades de población, niveles de N-P ₂ O ₅ y sitios de aplicación del fertilizante (20-20-0).	34
5	Resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en tratamientos de densidades de siembra, niveles de N-P ₂ O ₅ y lugar de aplicación del fertilizante fórmula 20-20-0, en fríjol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	35
6	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de fríjol (kg ha ⁻¹) sometido a diferentes densidades de siembra, fertilizado con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	36
7	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de fríjol (kg ha ⁻¹) sometido a diferentes niveles de fertilización N-P ₂ O ₅ con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	36
8	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de Fríjol (kg ha ⁻¹) en diferentes modalidades de sitio de colocación del fertilizante fórmula 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	38

9	Resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en tratamientos de densidades de siembra y lugar de aplicación del fertilizante fórmula 15-15-15, en frijol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	38
10	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) sometido a diferentes densidades de siebra, fertilizado con la fórmula comercial 15-15-15. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	38
11	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) en diferentes modalidades de sitio de colocación del fertilizante con la fórmula comercial 15-15-15. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	39
12	Resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en tratamientos de densidades de siembra y fuentes de fertilizante, en frijol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	39
13	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) sometido a diferentes densidades de siembra, colocando el fertilizante al centro de cada dos posturas. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	40
14	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) fertilizado con diferentes fuentes comerciales y colocando el producto al centro de cada dos posturas. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	40
15	Resultados del análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (g) en tratamientos de densidades de siembra, niveles de $\text{N-P}_2\text{O}_5$ y lugar de aplicación del fertilizante fórmula 20-20-0, en frijol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	41
16	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol sometido a diferentes	41

	densidades de siembra, fertilizado con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	
17	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol sometido a diferentes niveles de fertilización N-P ₂ O ₅ con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	42
18	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol bajo diferentes modalidades de sitio de colocación del fertilizante con la fórmula comercial 20-20-0.	43
19	Resultados del análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (g) en tratamientos de densidades de siembra y lugar de aplicación del fertilizante fórmula 15-15-15, en frijol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	45
20	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol bajo a diferentes densidades de siembra, fertilizado con la fórmula comercial 15-15-15.	45
21	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol bajo diferentes modalidades de sitio de aplicación del fertilizante fórmula comercial 15-15-15	46
22	Resultados del análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (g), en frijol variedad ICTA Ligero bajo diferentes densidades de siembra y fuentes de fertilizante comercial. Cuyuta, Masagua, Escuintla.	47
23	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol variedad ICTA Ligero bajo diferentes densidades de siembra, colocando el fertilizante al centro de cada dos posturas.	48
24	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol variedad ICTA Ligero fertilizado con diferentes fuentes comerciales y colocando el producto al centro de cada dos posturas.	49

EVALUATION OF DIFFERENTS DENSITIES AND DOSIS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ALPLIED IN DIFFERENTS SITES IN COMMON BEANS YIEKD AL CUYUTA, GUATEMALA

ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE DENSIDADES DE SIEMBRA Y EL SITIO DE APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y FOSFORO EN EL RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) VARIEDAD ICTA LIGERO EN EL PARCELAMIENTO CUYUTA, MASAGUA, ESCUINTLA

R E S U M E N

La presente investigación se realizó en el Parcelamiento Cuyuta, Masagua, Escuintla, en donde predominan suelos Entisoles. El objetivo fue determinar la dosis adecuada de fertilización nitrogenada y fosfatada, que en función de diversas formas de fertilización y manejo de densidades de siembra, diera como resultado los mayores rendimientos de grano en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad ICTA Ligero. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Se evaluaron 63 tratamientos; 45 provenientes del factorial 3 densidades de siembra por 5 niveles de fertilización (con la fórmula 20-20-0) por 3 sitios de aplicación del fertilizante; 9 provenientes del factorial 3 densidades de siembra por 3 sitios de aplicación del fertilizante, en estos tratamientos se utilizó la fórmula 15-15-15 en la dosis de 40 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O. Para cada una de las tres densidades de siembra se incluyeron 3 tratamientos con la finalidad de evaluar el efecto de aplicar solo nitrógeno, solo fósforo y solo potasio, en estos casos se utilizaron como fuentes las fórmulas 46-0-0, 0-46-0 y 0-0-60, la dosis fue de 40 kg ha⁻¹. Como variables de respuesta se evaluaron: rendimiento de grano, número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 100 granos, días a floración y días a madurez fisiológica.

De acuerdo a los resultados, a excepción de días a floración y a madurez fisiológica, las variables fueron afectadas significativamente por los tratamientos evaluados. Granos por vaina no mostró ninguna tendencia; las variables número de vainas por planta y peso de 100 granos fueron superiores en las densidades más bajas (200,000 y 250,000 plantas ha⁻¹); sin embargo, esto no incidió directamente en el rendimiento total de grano, toda vez que este fue mayor en la densidad de 333,333 plantas⁻¹. Se determinó que se obtiene un mejor rendimiento cuando el fertilizante de cada dos posturas se aplica en el centro de ellas. Así mismo, que la planta respondió positivamente a la aplicación de fertilizantes, aunque no fue factible, dado el comportamiento de los datos, determinar cual era el mejor nivel de aplicación. Es factible utilizar cualquiera de las fórmulas fertilizantes 20-20-0 ó 15-15-15; al no disponerse de ninguna de ellas puede aplicarse 0-46-0 ó 46-0-0, por ser el nitrógeno y el fósforo los elementos que se determinó, más impactan en el rendimiento del fríjol.

Se recomienda hacer una nueva evaluación de niveles de fertilización, utilizando las fuentes comerciales 20-20-0 y 15-15-15. Usar distanciamiento entre surcos de 0.3 m (333,333 plantas ha⁻¹) y colocar el fertilizante correspondiente a dos posturas, en el centro de ellas.

I. INTRODUCCION

Lemus (15), indica que en Guatemala el cultivo de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L) es cultivado preferentemente en la zona central y oriental (Chimaltenango, Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, Santa Rosa). Esta última contribuye con un 54.5% de la producción nacional en este grano.

Desde 1984, el Programa de Fríjol del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas - ICTA - desarrolla actividades de investigación en el Centro Experimental Cuyuta, en el Municipio de Masagua, del departamento de Escuintla, sobre la costa pacífica de Guatemala. Producto del trabajo durante los primeros años, se logró detectar que entre los principales problemas que afectan al fríjol en la región, se encuentran: a) alta incidencia de enfermedades tanto fungosas como bacterianas y virosas; b) altas poblaciones de malezas competidoras al cultivo; c) presencia de poblaciones altas de plagas y enfermedades. Los objetivos del Programa de Fríjol en esta región estuvieron encaminados a la obtención de variedades de grano negro opaco, que mostraran una buena tolerancia a las enfermedades y además, caracteres agronómicos favorables que contribuyeran a alcanzar un mayor rendimiento (13).

El ICTA ha generado materiales genéticos y recomendaciones agronómicas que permiten superar en gran medida las condiciones desfavorables que se presentan en la costa sur de Guatemala para el cultivo de fríjol; sin embargo, aún existe déficit tecnológico. Entre las variedades de reciente liberación se encuentra ICTA Ligero, material para el que aún no se han evaluado aspectos relacionados con la densidad de siembra y niveles de fertilización apropiados, extrapolándose para su manejo, tecnología que ha sido generada en otras regiones, principalmente en el oriente del país.

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo general contribuir a generar y complementar la tecnología para producción de frijol variedad ICTA Ligero en la costa sur de Guatemala, determinando para ello la dosis de fertilización que en función de diversas formas de fertilización y manejo de densidades de siembra diera como resultado los mejores rendimientos y beneficios económicos del cultivo.

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

El cultivo de fríjol se ha desarrollado principalmente en las zonas oriental y altiplano central del país. Las condiciones ambientales de la costa sur dificultan su manejo, principalmente en el aspecto fitosanitario; por ello, desde 1984, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas - ICTA - inició la generación de tecnología para contrarrestar este problema en dicha región.

En los últimos años, agricultores individuales y grupos organizados han iniciado la producción de dicho cultivo; sin embargo, se presentan dos situaciones: a) los rendimientos obtenidos están por debajo del potencial observado en el oriente y b) se asemejan al rendimiento obtenido en el oriente, pero hacen uso de cantidades exageradas de fertilizantes (hasta 500 kg de un fertilizante completo por hectárea). Diversas razones pudieran ser la causa, entre ellas principalmente, que la dosis de fertilizante que se utiliza en el primero de los casos citados se ha extrapolado de la zona oriental (40 kg de N y 40 kg de P por hectárea), que como se mencionó anteriormente, difiere notablemente en aspectos bioclimáticos y de suelo.

Por otra parte, dentro de los últimos materiales de fríjol disponibles en el mercado se encuentra la variedad ICTA Ligero, ésta presenta una arquitectura más compacta y menor altura que otros materiales que se venían utilizando en las zonas tropicales, lo que la hace potencial para manejarse a densidades de siembra mayores que las que normalmente se recomiendan y de esta forma aprovechar en mejor forma su potencial genético.

En el caso de los pequeños productores de fríjol, quienes realizan las labores de cultivo en forma manual, la práctica de fertilización, que se realiza normalmente ocho días después de la siembra, resulta onerosa, toda vez que además de invertir en la compra de los insumos, la fertilización se hace por postura, auxiliándose de la herramienta conocida como "chuzo".

III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a que la variedad ICTA Ligero es un material de reciente liberación, que por sus bondades, principalmente de rendimiento, precocidad y tolerancia a los principales patógenos, está siendo rápidamente adoptado por los productores, y dado a que las condiciones agroclimáticas de la costa sur difieren de las predominantes en el oriente de Guatemala, surge la necesidad de generar tecnología para el manejo de la misma y poder aprovechar al máximo su potencial y cualidades.

La presente investigación se planteó con el propósito de generar tecnología relacionada con las prácticas de fertilización y densidad de siembra. En el caso de la primera de ellas se incluyeron dos aspectos: uno cuantitativo, relacionado con las cantidades de N, P₂O₅ y K₂O apropiados para el cultivo y el segundo referido al mejor sitio de aplicación de los mismos; ambos con miras a minimizar los costos de dicha práctica.

IV. MARCO TEORICO

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Importancia del cultivo del Fríjol

Dentro del grupo de las leguminosas comestibles, el fríjol común es una de las más importantes, debido a su amplia distribución en los cinco continentes y por ser un suplemento nutricional en la dieta alimenticia de los habitantes de Centro y Sur América. En América Latina y África, el fríjol común y los guisantes forrajeros son importantes fuentes de proteínas en la dieta humana. Desde el punto de vista de la cantidad consumida, las leguminosas ocupan el segundo lugar, después de los cereales (3).

Para los guatemaltecos, especialmente para aquellos de escasos recursos económicos, el fríjol es importante para la dieta, contiene entre el 15 y 27% de proteína. El fríjol de color negro es el preferido y es un cultivo practicado por agricultores de bajos recursos económicos y utilizando principalmente suelos marginales y frecuentemente en asociación con otros cultivos (3).

4.1.2 Clasificación Botánica del Fríjol (7)

La taxonomía inicial del cultivo fue hecha por Linneo en 1753, posteriormente fue modificada por Cronquist quien menciona que el fríjol común es el prototipo del género *Phaseolus*:

Reino	-----	Plantae
Sub reino	-----	Embryobionta
División	-----	Magnoliophyta
Clase	-----	Magnoliopsida
Subclase	-----	Rosidae
Orden	-----	Fabales
Familia	-----	Fabaceae

Subfamilia	-----	Papilionideae
Género	-----	<i>Phaseolus</i>
Especie	-----	<i>vulgaris</i>

4.1.3 Descripción de la planta de Frijol

De acuerdo con Molina (18), el fríjol es una especie anual, originaria de América Central, el Sur de México y Sur América, en estos lugares se cultiva desde épocas precolombinas. Hoy en día se encuentran especies silvestres en ciertos lugares de Sur América, el fríjol es sin duda la especie más importante del género *Phaseolus*. Es una planta con un sistema radicular bien desarrollado, compuesto de una raíz principal y muchas raíces secundarias ramificadas en la parte superior del suelo. Los tallos son débiles, angulosos, de sección cuadrangular y de altura muy variable de acuerdo a la variedad. El porte de la planta está determinado por la forma y posición de tallos; si el tallo principal presenta una inflorescencia terminal, el crecimiento de éste se detiene rápidamente (crecimiento determinado), las plantas son enanas y erectas. Si el tallo no produce esta inflorescencia aparecen axilas y la planta será guiadora o trepadora (crecimiento indeterminado). Las inflorescencias, ya sea en racimos terminales o axilas, tienen pedúnculos erguidos y algo vellosos, cada pedúnculo lleva numerosas flores. El número de flores puede ser de unas pocas hasta 30 o más; las hojas son alternas, compuestas de tres folíolos, con los extremos acuminados, los frutos o vainas son de tamaño variado, estas pueden medir de 6 a 22 cm de largo.

La textura de las vainas es variada dependiendo de la presencia de ciertos tejidos fibrosos que se llaman corrientemente “hebras” (24).

4.1.4 Características generales del desarrollo de la planta de fríjol (5).

El ciclo biológico de la planta de fríjol se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva.

La fase vegetativa se inicia cuando se le brindan a las semillas las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los primeros botones florales en las variedades de hábito de crecimiento determinado, o los primeros racimos en las variedades de hábito de crecimiento indeterminado. En esta fase se desarrolla la estructura vegetativa necesaria para iniciar la actividad reproductiva de la planta.

En la fase vegetativa el desarrollo de los meristemos terminales del tallo y de las ramas produce nudos, en los cuales se forman complejos axilares susceptibles de un desarrollo posterior.

La fase reproductiva se encuentra comprendida entre el momento de la aparición de los botones florales o los racimos y la madurez de cosecha. En las plantas de hábito de crecimiento indeterminado, continua la aparición de estructuras vegetativas cuando termina la denominada fase vegetativa, lo cual hace posible que una planta esté produciendo simultáneamente hojas, ramas, tallo, flores y vainas.

4.1.5 Etapas de desarrollo del fríjol (5).

Se necesita de un conocimiento de las etapas de crecimiento para mejorar las prácticas culturales y mejorar los rendimientos de los cultivos. El crecimiento y desarrollo del fríjol se divide en etapas vegetativas y reproductivas. Las etapas vegetativas (V) son definidas basadas en el número de nudos del tallo principal, con inclusión del nudo de la hoja primaria, mientras que las etapas reproductivas (R) son definidas basadas en características de las vainas y las semillas además de los nudos.

En el desarrollo de la planta de fríjol se han identificado 10 etapas, las cuales están delimitadas por eventos fisiológicos importantes. El conjunto de estas 10 etapas forma la Escala de desarrollo de la planta de fríjol. Cada etapa comienza en un evento del desarrollo de la planta con cuyo nombre se le identifica y termina donde se inicia la siguiente etapa y así sucesivamente.

La identificación de cada etapa se hace con base en un código que consta de una letra y un número. La letra corresponde a la inicial de la fase a la cual pertenece la etapa particular; es decir, V si la etapa pertenece a la fase vegetativa o R si pertenece a la reproductiva. Los números del 0 al 9 indican la posición de la etapa en la escala.

Los factores más importantes que afectan la duración de las etapas de desarrollo del frijol incluyen el genotipo (cuyas características, hábito de crecimiento y precocidad pueden variar), y el clima. Existen otros factores tales como las condiciones de fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variación en la duración de las etapas.

La precocidad es otro factor que influye en la duración de las etapas de desarrollo, ya que es causa de diferencias importantes en el desarrollo de las plantas, aun en las pertenecientes a un mismo tipo de hábito de crecimiento.

Los factores climáticos que más inciden en la duración de las etapas de desarrollo son la luz y la temperatura; tanto los promedios de estos factores como las variaciones diarias y estacionales de la temperatura desempeñan una función importante en la duración de las etapas de desarrollo.

4.1.6 Arquitectura de la planta de frijol

Las plantas de frijol son arbustivas o postradas. Estos dos tipos de frijol han sido clasificados en diferentes categorías basadas en hábitos de crecimiento. Una clasificación ha sido propuesta por el CIAT (4), el cual sugiere una clave para identificar los cuatro principales hábitos de crecimiento. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos hábitos de crecimiento y de los subtipos.

A. Tipo I:

Hábito de crecimiento determinado; yemas terminales reproductivas en el tallo principal y las ramas; limitada o ninguna formación de nudos y hojas después de iniciada la floración.

- Ramas y tallo principal generalmente fuerte y erecto (Ia).
- Ramas y tallo principal débil, postrado, con alguna habilidad trepadora (Ib).

B. Tipo II:

Hábito de crecimiento indeterminado; yemas terminales del tallo y las ramas, vegetativas; hay producción de hojas después de iniciada la floración tanto el tallo como las hojas fuertes y erectas.

- Guía terminal (indeterminados excesivamente alargados y débiles) ausente, por tanto carece de habilidad trepadora. (IIa).
- Guía terminal de longitudes variables y por tanto posee cierta habilidad trepadora (IIb).

C. Tipo III:

Hábito de crecimiento indeterminado; ramas relativamente débiles y abiertas, semipostradas. Carga de vainas concentrada en la parte basal de la planta. Su máximo rendimiento se logra en monocultivo.

- Ramas relativamente cortas, guía de tallo principal y/o en las ramas son pequeñas cuando se presentan y poseen débil habilidad trepadora. (IIIa).
- Ramas largas, a menudo postradas, con guía del tallo principal relativamente larga y habilidad trepadora moderada (IIIb).

D. Tipo IV:

Hábito de crecimiento indeterminado. Tallo y ramas muy débiles y excesivamente largos, con fuerte habilidad trepadora. Necesita apoyo para lograr rendimientos máximos.

- Carga de vainas distribuida a todo lo largo de la planta (IVa).
- Carga de vainas principalmente en la parte superior de la planta (IVb).

Los tallos y ramas del frijol son delgados, torcidos, angulosos y apostillados; las formas trepadoras tienen más nudos que están más espaciados que en los tipos arbustivos determinados. Las hojas son alternas, trifoliadas, un poco pilosas y cada una posee un pulvino bien desarrollado en la base. El frijol normalmente se autopoliniza, ocurre menos de 1% de polinización cruzada.

4.1.7 Densidad vegetal y rendimiento

Fagaria y Balagar (9), indican que la densidad de siembra es un factor importante que afecta el rendimiento de los cultivos, el rendimiento biológico se incrementa con la densidad hasta un valor máximo, determinado por algún factor ambiental y, a densidades mayores, tiende a mantenerse constante siempre que no intervengan factores ajenos como el acame. El rendimiento en grano se incrementa hasta un valor máximo pero declina al incrementar aun más la densidad. La densidad óptima de siembra debe ser determinada para cada cultivo bajo cada agro ecosistema con el fin de obtener rendimientos máximos.

En Centroamérica se siembra muy comúnmente las variedades de frijol de tipo arbustivo (Tipo I y Tipo II) tipo semi-guía (Tipo IIIb) a una distancia promedio de 50 cm entre surcos, con 10 cm entre posturas y una semilla por postura lo cual da una densidad de 200,000 plantas ha⁻¹. En ensayos sobre densidad espacial de siembra en el área de Centro América, se encontró que el rendimiento de frijol tiene un punto máximo cuando la distancia entre surcos es de 31.6 cm y la distancia entre plantas es de 5.35 cm (16).

De acuerdo con Hernández y Páez (12), a partir de este punto la respuesta declina para cualquier otra combinación de valores de distancias de siembra; esta distancia parece tener justificación en el hecho de que las densidades más altas podrían traducirse en una mayor competencia, en detrimento de la producción; a una menor densidad, puede ser debido al menor número de plantas por unidad de superficie.

Los distanciamientos recomendados por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas - ICTA-, para producir fríjol son de 40 a 50 cm entre surcos y 30 a 40 cm entre posturas, con tres granos de fríjol por postura (14).

4.1.8 Componentes de rendimiento

Los procesos fisiológicos que intervienen en la captación, transformación y translocación⁰ de la energía disponible, determinan entre otras cosas el rendimiento de la planta. Es importante considerar a los componentes de rendimiento como indicadores de tendencias de los procesos que determinan el rendimiento, y no necesariamente como causas directas del mismo. Los componentes de rendimiento incluyen el número y peso del grano, número de estructuras florales (en el caso del fríjol las vainas), etc. (20).

4.1.9 Importancia de la Fertilización:

La agricultura es un sector económico estratégico y multifuncional, que tiene como principal finalidad, asegurar de forma indefinida una producción de alimentos y diversas materias primas suficientes, para cubrir las necesidades de una población humana creciente. Aunque la evolución de las técnicas agrícolas ha sido continua desde los inicios de la agricultura, hace unos 8,000 - 10,000 años, en función del nivel de desarrollo científico técnico de la sociedad, es a partir de mediados del siglo XX, cuando el avance fue más sobresaliente, dando lugar a aumentos espectaculares en las producciones agrícolas (23), que proporcionaron un marcado aumento de la

población humana, pasando de unos 2,500 millones de personas en 1,950 a unos 6,400 millones en la actualidad (11). Obviamente, en el citado avance tecnológico que generó el llamado cultivo intensivo o convencional, han contribuido las mejoras logradas en distintas técnicas agrarias como las variedades seleccionadas, la fertilización, el riego, los fitosanitarios, la protección, etc.

En cuanto a la fertilización del suelo, basada inicialmente en la utilización de los residuos orgánicos disponibles, principalmente estiércoles y fertilizantes inorgánicos de origen natural, experimentó un cambio drástico a partir de la década de 1950 con el desarrollo de los fertilizantes inorgánicos N-P-K, lo que contribuyó en gran medida a aumentar los rendimientos de los cultivos. Así, Sherwood estima en 30-50% la contribución de los fertilizantes inorgánicos N-P-K al aumento de producción vegetal registrado en los últimos decenios, y entre estos materiales cabe destacar la importancia de los fertilizantes inorgánicos nitrogenados (de síntesis), de los que en la actualidad depende la alimentación de unos dos mil millones de personas (22).

El objetivo de la fertilización es aplicar los fertilizantes en el momento oportuno y en el lugar adecuado para que sean aprovechados por la planta de una mejor manera. Los fertilizantes deben ser aplicados al momento de la siembra ó a los 8 días después de la siembra, teniendo el cuidado que el fertilizante no entre en contacto con las semillas, contribuyendo a que las raíces lo absorban oportunamente (20).

Según Cooke (6), el fríjol por ser una planta leguminosa forma nódulos, producto de la simbiosis de las bacterias del género *Rhizobium* con las raíces de las plantas, lo que permite fijar nitrógeno atmosférico; pero algunas veces el suelo no contiene los microorganismos necesarios para la formación de nódulos y la fijación de nitrógeno y requiere una ligera fertilización nitrogenada para cubrir esta necesidad, con el fin de fomentar, el rápido desarrollo inicial del cultivo. De acuerdo con Alvarez (1), las leguminosas se ayudan con la simbiosis del *Rhizobium*, pero sus rendimientos se elevan considerablemente con la aplicación del elemento nitrógeno; de ahí que con frecuencia sea necesario suministrarle una ligera fertilización nitrogenada en la época de siembra para el rápido desarrollo inicial del cultivo. También señala que las necesidades en el

fríjol son altas, y que en muchos casos la fertilidad natural de los suelos no es suficiente para cubrir los requerimientos del mismo, recurriéndose por ello a la fertilización nitrogenada.

Masaya (17), recomienda que al fertilizar el fríjol, la aplicación del fertilizante debe ser al momento de sembrar o antes de la siembra; sugiriendo para nitrógeno 75 a 150 kg ha⁻¹.

4.1.9.1 Nitrógeno (N)

Después del agua, el N es el nutriente más importante en el desarrollo de la planta, dado a su abundancia en las principales biomoléculas de la materia viva; si a esto añadimos que los suelos suelen ser más deficientes en N que en cualquier otro elemento, no resulta extraño que sea, junto con el P y el K, el elemento clave en la nutrición mineral. Las formas iónicas preferentes de absorción de N por la raíz son el nitrato (NO₃⁻) y el amonio (NH₄⁺). Existe también la posibilidad de conseguir N₂ atmosférico fijado simbióticamente por leguminosas y algunas otras familias de plantas gracias a microorganismos de géneros como *Rhizobium* y *Frankia* y también por la absorción de amoniaco (gas) que se introduce en la planta a través de estomas; ambos terminan convirtiéndose en amonio. No resulta fácil fijar el estado nutricional de las plantas en lo que se refiere al N, dado a que la presencia de ion nitrato se ve regulada por aspectos como la desnitrificación hasta formas gaseosas de N, la inmovilización microbiana y la lixiviación, mientras que el ion amonio se ve afectado por su volatilización en forma de amoniaco, su absorción por el coloide arcilloso-húmico del suelo y la nitrificación (2).

La mayor parte de N del suelo se encuentra en la fracción de N orgánico, no asimilable por las plantas. De ahí la importancia de los procesos de mineralización del N en el suelo, habitualmente controlados por microorganismos, por lo que es muy difícil dictaminar el potencial nutritivo de N en el suelo, aun más, si consideramos los procesos mencionados de desnitrificación y lixiviación. Esta última determina el enorme impacto ambiental que los nitratos de origen agrícola ejercen en la contaminación de los acuíferos subterráneos (2).

En la planta, el N se distribuye en tres grupos: más del 50% se halla en compuestos de elevado peso molecular (proteínas y ácidos nucleicos); el resto, en forma de N orgánico soluble (aminoácidos, amidas, aminos y otros) y N inorgánico (principalmente iones nitrato y amonio). Su contenido en el total del peso seco de la planta oscila entre el 1.5 y el 5% (2).

Los síntomas de deficiencia de N son los característicos de un elemento muy móvil: clorosis en las hojas adultas que, con frecuencia, caen de la planta antes de ser necróticas. Algunas plantas como tomate y ciertas variedades de maíz, muestran una coloración purpúrea causada por la acumulación de pigmentos antocianos (2).

Un exceso de N se manifiesta por un exceso de follaje con un rendimiento pobre en frutos, como sucede en cultivos tan diferentes como los de cítricos y patatas. Se desconoce las razones de este crecimiento relativamente elevado en la zona aérea, pero lo que sí parece seguro es que la transferencia de azúcares hacia las raíces o los tubérculos queda afectada de alguna forma, quizás debido a un desequilibrio hormonal. El exceso de N también hace que los tomates se partan al madurar (21). En general, existe un desarrollo radicular mínimo frente a un desarrollo foliar grande, con la consiguiente elevación de la proporción parte aérea - raíz, justo lo inverso de lo que sucede en condiciones de deficiencia. También, en algunos cultivos, el exceso de N determina un retardo en la floración y formación de semillas (2).

4.1.9.2 Fósforo (P)

El P es disponible para la planta como ion fosfato y se absorbe preferentemente como H_2PO_4^- en suelos con un pH inferior a 7 y como anión divalente HPO_4^{2-} en suelos básicos, con pH superior a 7. En contraste con el N, el P no se encuentra en forma reducida en las plantas, sino que permanece como fosfato ya sea en forma libre o como un compuesto orgánico, principalmente como éster fosfórico con grupos hidroxilos, o formando enlaces anhídridos ricos en energía, como es el caso del ATP y del ADP. Desempeña, por tanto, un papel clave en la fotosíntesis, la respiración y en todo el metabolismo energético. Asimismo, el P tiene un papel estructural

importante en muchas moléculas y estructuras celulares, como en el caso de enlaces diéster presentes en los ácidos nucleicos y en los fosfolípidos, los cuales son fundamentales en las estructuras membranosas. Con todo, una parte importante del fosfato en la planta se encuentra en forma iónica libre: El 75% en las vacuolas y el 25% restante, en la matriz y los orgánulos citoplasmáticos, en equilibrio con los ciclos metabólicos (2).

El fosfato se redistribuye fácilmente en la mayoría de las plantas de un órgano a otro, acumulándose en las hojas jóvenes y en las flores y semillas en desarrollo; en consecuencia, los síntomas de deficiencia se presentan primero en las hojas adultas. Las plantas deficientes presentan enanismo y, en contraste con las deficientes en N, un color verde intenso, tomando un color parduzco a medida que mueren. La madurez se ve retardada en comparación con la de las plantas control aunque en muchas especies, es la relación del P con el N la que regula la maduración: el exceso de N la retarda y la abundancia de P la acelera. El P en exceso determina, al contrario que en el caso de N, un gran desarrollo de las raíces en relación con la parte aérea, lo que determina una baja proporción parte aérea - raíz. Un factor muy importante que facilita la absorción de P en condiciones naturales es la presencia de micorrizas, que son asociaciones simbióticas entre hongos del suelo y las raíces de las plantas (2).

4.1.9.3 Potasio (K)

Junto con el P y el N, constituye el contenido principal de los fertilizantes de máxima comercialización debido a la importancia de estos tres elementos. Su comportamiento, a pesar de su naturaleza catiónica, es muy similar a la que presentan el P y el N, redistribuyéndose con suma facilidad de los órganos maduros a los juveniles dada su solubilidad y baja afinidad por los ligandos orgánicos, de los que fácilmente se intercambia. Es el catión más abundante en la vacuola y el citoplasma, donde puede alcanzar concentraciones de 100 mM y entre 2000 - 5000 ppm en el xilema, por ejemplo, en remolacha azucarera. Desempeña por tanto, un papel clave en la osmorregulación que tiene lugar en los procesos de apertura y cierre estomáticos, así como en las nastias y tactismos. Por otra parte, el K es activador de más de 50 sistemas enzimáticos, entre los

que destacan oxidorreductasas, deshidrogenasas, transferasas, sintetisas y quinazas. Aunque puede ser sustituido en algunos casos, pues solo es necesario para el cambio conformacional de la apoenzima, dadas las altas concentraciones necesarias, a veces resulta difícil considerar un sustituto *in vivo* (2).

El K es un activador de muchas enzimas esenciales para la fotosíntesis y la respiración, y también activa enzimas que son necesarias para formar almidón y proteínas. Este elemento también es tan abundante que es uno de los contribuyentes más importantes al potencial osmótico de las células y, por consiguiente, a su presión de turgencia (21).

La deficiencia de K en los cultivos se traduce en una mayor susceptibilidad al ataque de patógenos en la raíz y a una debilidad de los tallos que hace a las plantas especialmente sensibles a la acción del viento, las lluvias, etc., principalmente en el caso de monocotiledóneas. En dicotiledóneas, los primeros síntomas de clorosis aparecen también en hojas adultas que posteriormente se hacen necróticas; se retrasa el crecimiento y se producen pérdida de turgencia y marchitamiento, mucho más acusados cuando hay déficit hídrico. En condiciones de exceso de K se incrementa su consumo, salvo en semillas, y ese consumo de lujo puede interferir en la absorción y disponibilidad fisiológica de Ca y Mg (2).

4.1.10 Aspectos económicos sobre la práctica de fertilización

El rendimiento de un cultivo aumenta a medida que aumenta el fertilizante aplicado, pero después de llegar a una cierta cantidad, los rendimientos decrecen. La práctica de fertilización representa un alto porcentaje de los costos totales de producción, por lo que es importante conocer los factores que influyen en la respuesta del cultivo a la aplicación de los fertilizantes, para poder determinar las cantidades adecuadas que deben ser aplicadas, a fin de obtener el mayor beneficio económico. Un agricultor debe aplicar fertilizante hasta el punto en que la última unidad aplicada sea justamente la cantidad suficiente para producir un incremento en la producción que pueda compensar el costo adicional ocasionado por la compra de ésta última unidad de fertilizante (9).

4.2 MARCO REFERENCIAL

4.2.1 Características de los Materiales Experimentales

4.2.1.1 Fríjol Variedad ICTA Ligero

De acuerdo al ICTA (14), es una variedad producto de la cruce entre las líneas DOR 385 del CIAT y JU-90-4 del ICTA, realizada por el Programa de Frijol en el Centro de Producción de Jutiapa. Sus características son: hábito de crecimiento indeterminado, pero la carga mayor se da en la base de la planta; su altura es de 60 cm y la floración ocurre entre 29 y 30 días después de la siembra; el color de la flor es lila; la vaina madura es de color crema, con seis granos de color negro oscuro, la madurez fisiológica se presenta a los 64 días y puede cosecharse a los 71 días o antes, si el clima está seco. Es resistente a Mosaico Dorado y tolerante a Antracnosis, Bacteriosis y Roya. Ha mostrado rendimientos experimentales hasta de 2,590 kg ha⁻¹, con promedio de 1,660 kg ha⁻¹. A nivel comercial el rendimiento varía entre 1,300 a 1,950 kg ha⁻¹ (20 y 30 quintales por manzana)), en condiciones adecuadas de humedad y monocultivo. El tiempo de cocción en ollas de barro, de acuerdo con evaluaciones realizadas en Jalpatagua, Jutiapa, es de una hora con diez minutos. En opinión de los consumidores, el caldo es espeso y de buen sabor.

4.2.1.2 Características de los fertilizantes químicos utilizados

Urea (46-0-0): Proporciona el nitrógeno en forma de amidas, que no pueden ser utilizadas por las plantas. Mediante una transformación química se convierte primero en nitrógeno amoníaco, y luego en nitrato. La urea es fácilmente soluble en agua. Como fuente de nitrógeno es muy concentrada y contiene cerca de 46% de N. En el suelo, la urea es rápidamente convertida a amoníaco, es higroscópica y difícil de manejar, aunque si se granula puede almacenarse y aplicarse al voleo o cualquier otra manera, en forma satisfactoria. Es adecuada para la preparación de soluciones de nitrógeno, se puede aplicar antes, al mismo tiempo, o después de la siembra (10).

Superfosfato triple (0-46-0): Contiene cerca del 46% de P_2O_5 con un 85% de fosfato monocálcico hidrosoluble y asimilable. Se obtiene tratando la roca fosfórica con ácido fosfórico. Su presentación es en forma de granulado, lo cual hace que sea de fácil manejo, transporte y distribución. El súper triple es 2 ½ veces más concentrado que el súper ordinario y, por lo tanto, debería ser aplicado en menores cantidades. Además, tanto el triple como el ordinario pueden usarse para el mismo objetivo (10).

Muriato de Potasio (0-0-60): Estos fertilizantes a menudo son de manejo y aplicación difícil, forman terrones en los sacos y son higroscópicos. Contiene cerca del 60% de K_2O . Se puede aplicar antes, durante o después de la siembra (10).

Fertilizantes Compuestos (20-20-0 y 15-15-15): La principal ventaja de estos fertilizantes es la flexibilidad en la producción y lo económico de su aplicación. La desventaja de los fertilizantes compuestos comerciales es que el productor está inclinado a usar el tipo disponible, aunque no siempre contiene los nutrientes en las proporciones aconsejables (10).

4.2.1.3 Características generales del suelo utilizado en el experimento

El suelo utilizado en el experimento fue un Entisol. Sus características se muestran en el Cuadro 1. De acuerdo a las mismas y considerando niveles críticos de 10 y 100 ppm para P y K respectivamente, dicho suelo presentaba deficiencia de fósforo y suficiencia de potasio. El resto de nutrientes se encontraban en niveles adecuados.

Cuadro 1. Resultados del análisis físico químico del suelo utilizado en el experimento.

Característica	Valor
P	7.98 mg kg ⁻¹
K	220 mg kg ⁻¹
Ca	12.48 meq/100g
Mg	3.19 meq/100g
Fe	2.5 ppm
Cu	0.5 ppm
Zn	2.0 ppm
Mn	11.5 ppm
Materia orgánica	6.27 %
PH	6.7
Clase textural	Franco arcillo arenoso

Fuente: Laboratorio de análisis de planta y suelos FAUSAC.

V. OBJETIVOS

General

Determinar la dosis de fertilizante nitrogenado y fosfatado, que en función de diversas formas de fertilización y manejo de densidades de siembra, reporte los mayores rendimientos del cultivo de fríjol, bajo las condiciones del Parcelamiento Cuyuta, del municipio de Masagua, departamento de Escuintla.

Específicos

1. Evaluar el potencial de rendimiento de grano y características agronómicas de la variedad de fríjol ICTA Ligero, sometida a diferentes niveles de nitrógeno y fósforo.
2. Determinar para el cultivo de fríjol variedad ICTA Ligero, la mejor densidad de siembra.
3. Determinar el efecto sobre el rendimiento de grano y características agronómicas de la variedad de fríjol ICTA Ligero, de tres opciones de localización del fertilizante con respecto a las posturas de las plantas.

VI. HIPOTESIS

Para el desarrollo del trabajo se partió de las siguientes hipótesis:

1. De todos los niveles de nitrógeno y fósforo a evaluar por lo menos uno produce una mejor respuesta en el rendimiento de grano y características agronómicas del fríjol variedad ICTA Ligerero.
2. De las tres densidad de siembra evaluadas por lo menos una será productora de mayor rendimiento de grano del fríjol variedad ICTA Ligerero.
3. La aplicación del fertilizante en medio de dos posturas respecto a la aplicación en medio de cuatro posturas y al pie de la planta de fríjol, no afecta significativamente el rendimiento de grano y características agronómicas de la variedad ICTA Ligerero.

VII. METODOLOGÍA

7.1 Localización del área experimental

El presente experimento se realizó en el Centro de Investigación y Producción Agrícola Cuyuta, del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA). Éste se ubica en el Parcelamiento Cuyuta, municipio de Masagua, departamento de Escuintla. Este sitio presenta una temperatura media anual de 27° C., una altitud de 48 msnm, se ubica en las coordenadas 14° 06' 13" latitud norte y 90° 54' 13" longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich. Se llega por la carretera CA-9, ruta antigua al Puerto San José; a 24 km de la cabecera departamental de Escuintla, y a 83 km de la ciudad capital de Guatemala. De acuerdo a De La Cruz (8), el lugar se encuentra en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Cálido, ubicado en ecosistema de bosque tropical semi-siempre verde estacional. Según el sistema Thornwaite, el clima es cálido sin estación fría bien definida, húmedo con un carácter de clima con invierno seco (A'a'Bi).

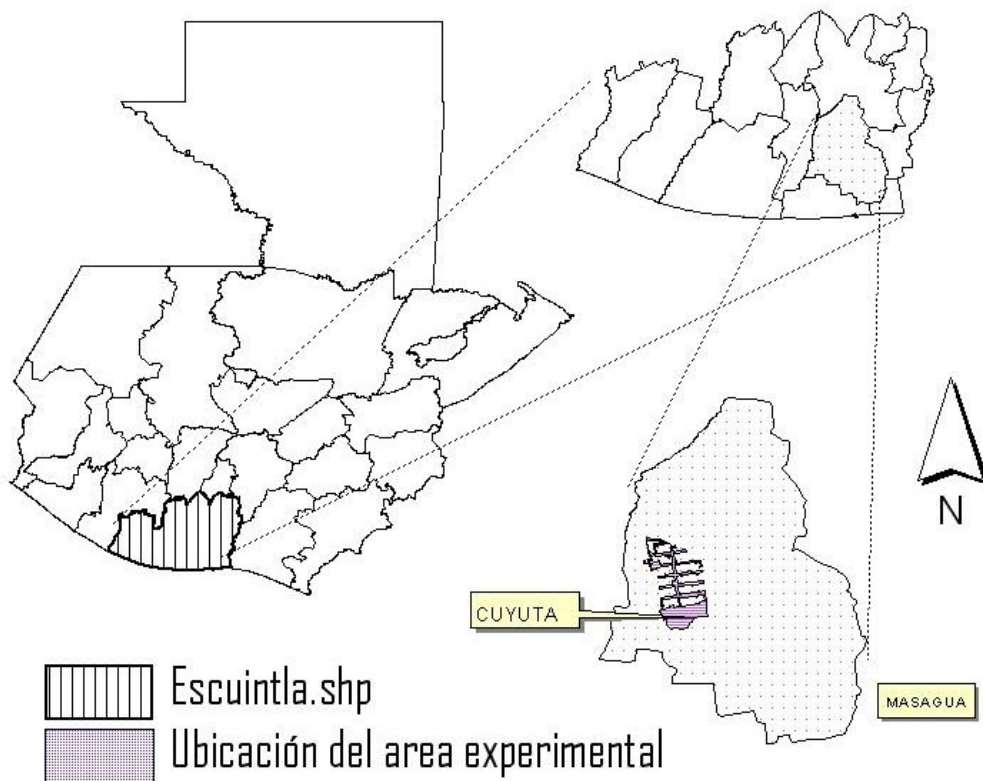


Figura 8: Ubicación de Centro de Investigaciones, ICTA Cuyuta, Managua, Escuintla.

7.2 Material experimental

En la presente investigación se utilizó la variedad de fríjol ICTA Ligero y distintas fuentes comerciales de fertilizante químico (fórmulas: 20-20-0, 15-15-15, 46-0-0, 0-46-0, 0-0-60).

7.3 Factores estudiados y Diseño de tratamientos

En el presente trabajo se evaluaron tres factores:

1) Densidades de siembra

D1 333,333 plantas ha⁻¹ (0.3 m entre surcos y 0.3 m entre posturas de 3 plantas)

D2 250.000 plantas ha⁻¹ (0.4 m entre surcos y 0.3 m entre posturas de 3 plantas)

D3 200,000 plantas ha⁻¹ (0.5 m entre surcos y 0.3 m entre posturas de 3 plantas)

2) Niveles de fertilización

F1 0 kg ha⁻¹ (testigo absoluto)

F2 20 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅

F3 40 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅

F4 60 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅

F5 80 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅

3) Localización del fertilizante (formas de fertilizar)

L1 1 chuzazo por postura

L2 1 chuzazo por 2 posturas

L3 1 chuzazo por 4 posturas

El diseño de tratamientos se hizo desarrollando tres factoriales. El Factorial A (3x5x3), proveniente de la combinación de las 3 densidades de siembra, los 5 niveles de fertilización (utilizando como fuente la fórmula 20-20-0) y las 3 localizaciones del fertilizante. El Factorial B (3x3), a partir de las 3 densidades de siembra y las 3 localizaciones del fertilizante; en estos tratamientos se utilizó el fertilizante comercial de fórmula 15-15-15 en la dosis de 40 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O. El Factorial C (3x3), proveniente de las 3 densidades de siembra y tres fórmulas simples de fertilizante (46-0-0, 0-46-0 y 0-0-60). En éste último caso se utilizó la dosis de 40 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

7.4 Descripción de tratamientos:

Se evaluaron 63 tratamientos, los cuales se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos de densidad, nivel de fertilización y localización del fertilizante evaluado.

Trat.	Densidad	Nivel de Fertilización	Localización del fertilizante	Fuente fertilizante
1	D1	F1	L1	20-20-0
2	D1	F1	L2	20-20-0
3	D1	F1	L3	20-20-0
4	D1	F2	L1	20-20-0
5	D1	F2	L2	20-20-0
6	D1	F2	L3	20-20-0
7	D1	F3	L1	20-20-0
8	D1	F3	L2	20-20-0
9	D1	F3	L3	20-20-0
10	D1	F4	L1	20-20-0
11	D1	F4	L2	20-20-0
12	D1	F4	L3	20-20-0
13	D1	F5	L1	20-20-0
14	D1	F5	L2	20-20-0
15	D1	F5	L3	20-20-0
16	D1	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L1	15-15-15
17	D1	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L2	15-15-15

18	D1	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L3	15-15-15
19	D1	N 40 kg ha ⁻¹	L2	46-0-0
20	D1	P ₂ O ₅ 40 kg ha ⁻¹	L2	0-46-0
21	D1	K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L2	0-0-60
22	D2	F1	L1	20-20-0
23	D2	F1	L2	20-20-0
24	D2	F1	L3	20-20-0
25	D2	F2	L1	20-20-0
26	D2	F2	L2	20-20-0
27	D2	F2	L3	20-20-0
28	D2	F3	L1	20-20-0
29	D2	F3	L2	20-20-0
30	D2	F3	L3	20-20-0
31	D2	F4	L1	20-20-0
32	D2	F4	L2	20-20-0
33	D2	F4	L3	20-20-0
34	D2	F5	L1	20-20-0
35	D2	F5	L2	20-20-0
36	D2	F5	L3	20-20-0
37	D2	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L1	15-15-15
38	D2	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L2	15-15-15
39	D2	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L3	15-15-15
40	D2	N 40 kg ha ⁻¹	L2	46-0-0
41	D2	P ₂ O ₅ 40 kg ha ⁻¹	L2	0-46-0
42	D2	K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L2	0-0-60
43	D3	F1	L1	20-20-0
44	D3	F1	L2	20-20-0
45	D3	F1	L3	20-20-0
46	D3	F2	L1	20-20-0
47	D3	F2	L2	20-20-0
48	D3	F2	L3	20-20-0
49	D3	F3	L1	20-20-0
50	D3	F3	L2	20-20-0
51	D3	F3	L3	20-20-0
52	D3	F4	L1	20-20-0
53	D3	F4	L2	20-20-0
54	D3	F4	L3	20-20-0
55	D3	F5	L1	20-20-0
56	D3	F5	L2	20-20-0
57	D3	F5	L3	20-20-0
58	D3	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L1	15-15-15
59	D3	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L2	15-15-15
60	D3	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L3	15-15-15

61	D3	N 40 kg ha ⁻¹	L2	46-0-0
62	D3	P ₂ O ₅ 40 kg ha ⁻¹	L2	0-46-0
63	D3	K ₂ O 40 kg ha ⁻¹	L2	0-0-60

7.5 Diseño experimental:

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones.

Los factores se distribuyeron de la siguiente manera:

Parcela grande: Densidades de siembra

Parcela mediana: Nivel de fertilización

Parcela chica: Sitio de aplicación del fertilizante

7.6 Unidad experimental:

Cada unidad experimental (parcela chica) estuvo constituida por ocho surcos de cinco metros de largo. Como parcela neta se tomaron los cuatro surcos centrales. La distancia entre surcos, de acuerdo a los tratamientos respectivos, fue de 0.3, 0.4 y 0.5 metros y entre posturas 0.3 metros, colocando 3 semillas por postura. La asignación del tratamiento respectivo a cada unidad se realizó utilizando para ello una tabla de números aleatorios.

7.7 Manejo del experimento

7.7.1 Preparación del terreno:

Un mes antes de la siembra se hicieron dos pasadas de rastra con tracción mecánica (tractor), con el fin de permitir la germinación y desarrollo de malezas que posteriormente al ser tratadas con un herbicida, pudieran servir de mulch para evitar el salpique de suelo por efecto de la lluvia, que pudiera convertirse en fuente de enfermedades fungosas, así también para aprovechar en mejor forma la humedad existente en el suelo

7.7.2 Trazo:

Previo a la siembra se trazaron los bloques y los surcos a las distancias requeridas de acuerdo a los tratamientos respectivos.

7.7.3 Siembra:

Se utilizó la variedad de frijol ICTA Ligero, se colocaron tres semillas por postura, distanciando las mismas a 0.3 metros. Esta actividad se hizo en forma manual, utilizando la herramienta conocida regionalmente como chuzo, el cual es una vara de madera con altura aproximada de 1.50 metros y de diámetro 0.05 metros con punta en forma de estaca (ver figura 9).

7.7.4 Fertilización:

Ocho días después de la siembra se procedió a efectuar la fertilización. La dosis y fórmula utilizada, varió de acuerdo a lo descrito para cada tratamiento en el apartado correspondiente. Esta labor se hizo en forma manual, auxiliándose de un chuzo y colocando la cantidad correspondiente a una, dos o cuatro posturas, de acuerdo a lo descrito para cada tratamiento.

7.7.5 Control de Malezas:

Dos días después de la siembra, se procedió a aplicar Glifosato (Roundup), con la finalidad de que la maleza crecida en el período entre la preparación del suelo y la siembra

sirviera de mulch, para contrarrestar el ataque de enfermedades fungosas, transmitidas por hongos presentes en el suelo. Adicionalmente, durante el ciclo del cultivo se hicieron dos limpiezas en forma manual; la primera a los 30 días después de la siembra, y la segunda 15 días después de la primera.

7.7.6 Riego:

Por la falta de precipitación pluvial fue necesario complementar la misma con dos riegos, habiéndose hecho los mismos por gravedad, a los 35 y 50 días después de la siembra.

7.7.7 Control de plagas y enfermedades:

Para prevenir el ataque de hongos del suelo, quince días después de la siembra se procedió a aplicar en forma localizada (al tallo de las plantas), el producto comercial Banrot. Para el control de plagas del follaje se hicieron aplicaciones semanales alternando los productos Paratión metílico (Folidol) y Endosulfán (Thiodan). Dada la baja incidencia de enfermedades fungosas, no fue necesario hacer ninguna aplicación de fungicidas al follaje.

7.7.8 Cosecha

Esta actividad consistió en el arranque manual de las plantas, setenta días después de la siembra. Para lograr el total secamiento del material vegetativo fue necesario exponerlo al sol durante cinco días. Posteriormente se procedió al aporreo y limpieza del grano, para finalmente obtener el peso del mismo.

7.8 Variables de respuesta

a) Días a floración: Se anotaron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela neta presentaban por lo menos una flor.

- b) Días a madurez fisiológica:** Esta variable se registró cuando en el 50% de las plantas de la parcela neta las vainas cambiaron de color.
- c) Número de vainas por planta:** Al momento de la cosecha se tomaron al azar cinco plantas por unidad experimental, manualmente se cortaron las vainas y se procedió al conteo de las mismas, obteniendo el promedio respectivo.
- d) Número de granos por vaina:** Manualmente se obtuvo el grano correspondiente a las vainas de las cinco plantas tomadas al azar (utilizadas para medir la variable anterior), se procedió al conteo y se obtuvo el promedio respectivo.
- e) Rendimiento de grano:** El producto cosechado en cada parcela neta, luego de secado, fue aporreado para separar el grano. Se obtuvo el peso de éste último y se refirió a kg ha^{-1}
- f) Peso de 100 granos:** En cada tratamiento se tomaron al azar 100 granos y se determinó el peso (g) de los mismos.

7.9 Análisis de la información

Para las variables rendimiento de grano y peso de 100 granos se realizaron ANDEVAs. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, se procedió a realizar una Prueba de Medias, utilizando para el efecto Duncan (5%). Las variables días a floración, días a madurez fisiológica, número de vainas por planta y número de granos por vaina fueron analizadas en forma gráfica.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Días a floración:

Esta variable no fue afectada significativamente por los tratamientos evaluados. El valor modal fue de 29 días de siembra a floración.

8.2 Días a madurez fisiológica:

Al igual que en la variable anterior, no se observaron diferencias entre los tratamientos evaluados. Se tuvo como valor modal, 68 días de siembra a madurez fisiológica.

8.3 Número de vainas por planta:

El número de vainas por planta sufrió modificaciones de acuerdo a los tratamientos de fertilización (fórmula 20-20-0), densidades de población y sitio de aplicación del fertilizante evaluado (Cuadro 3).

En las tres densidades de población se observó tendencia a aumentar el número de vainas por planta conforme se incrementaron los niveles de $N-P_2O_5$ aplicados al cultivo, lo que se atribuye a respuesta positiva de las plantas a los nutrimentos aplicados. También hubo tendencia a aumentar cuando se aplicó en el centro de cada dos posturas, modalidad que superó a la aplicación por postura, que a su vez fue superior a la de aplicar al centro de cada cuatro posturas; este comportamiento se explica por una mayor eficiencia en la absorción de nutrimentos y menos pérdida de los mismos.

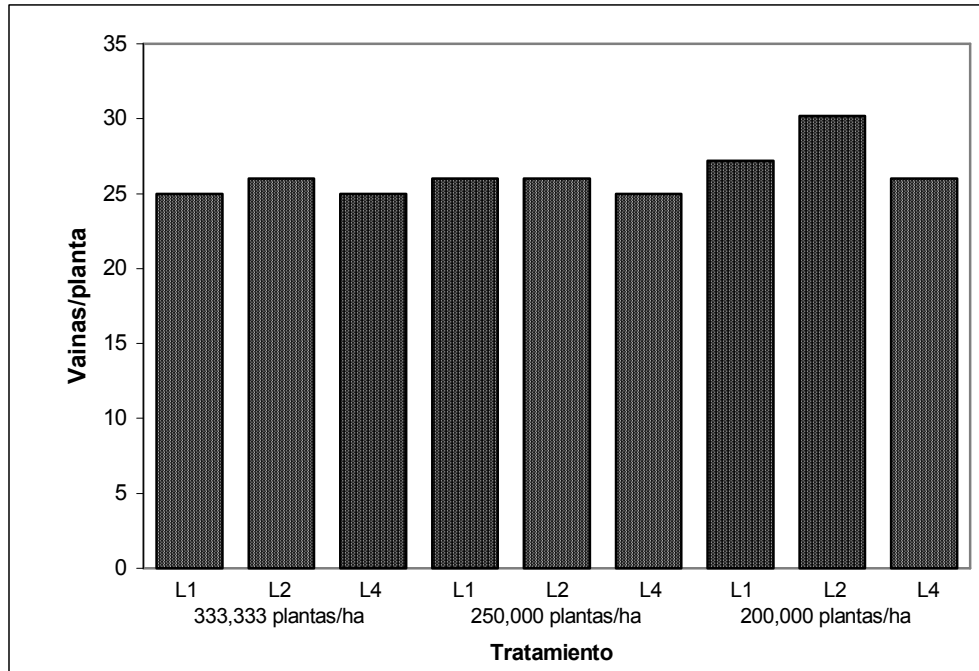
En todos los niveles de fertilización fue clara la tendencia a aumentar el número de vainas por planta en las densidades más bajas; esto se explica por la menor competencia entre plantas por agua, luz y nutrientes.

Cuadro 3. Vainas por planta en frijol bajo diferentes tratamientos de densidades de población, niveles de N-P₂O₅ y sitios de aplicación del fertilizante.

Tratamiento		Nivel de N-P ₂ O ₅ aplicado (kg ha ⁻¹)					Promedio
Densidad	Sitio de aplicación	0	20	40	60	80	
333.333 plantas/ha	Por postura	15.8	25.0	24.0	24.8	26.0	23.1
	Al centro de 2 posturas	16.0	25.8	25.6	27.8	28.6	24.8
	Al centro de 4 posturas	15.6	23.0	20.4	24.0	25.8	21.8
	Promedio	15.8	24.6	23.3	25.5	26.8	23.2
250,000 plantas/ha	Por postura	19.0	22.8	24.8	27.8	28.2	24.5
	Al centro de 2 posturas	19.0	25.8	26.0	27.0	28.0	25.2
	Al centro de 4 posturas	18.0	20.8	23.4	26.0	27.0	23.0
	Promedio	18.7	23.1	24.7	26.9	27.7	24.2
200,000 plantas/ha	Por postura	20.2	27.4	28.8	27.8	30.6	27.0
	Al centro de 2 posturas	20.0	28.2	29.8	31.2	31.4	28.1
	Al centro de 4 posturas	19.0	25.2	28.0	26.0	27.0	25.0
	Promedio	19.7	26.9	28.9	28.3	29.7	26.7

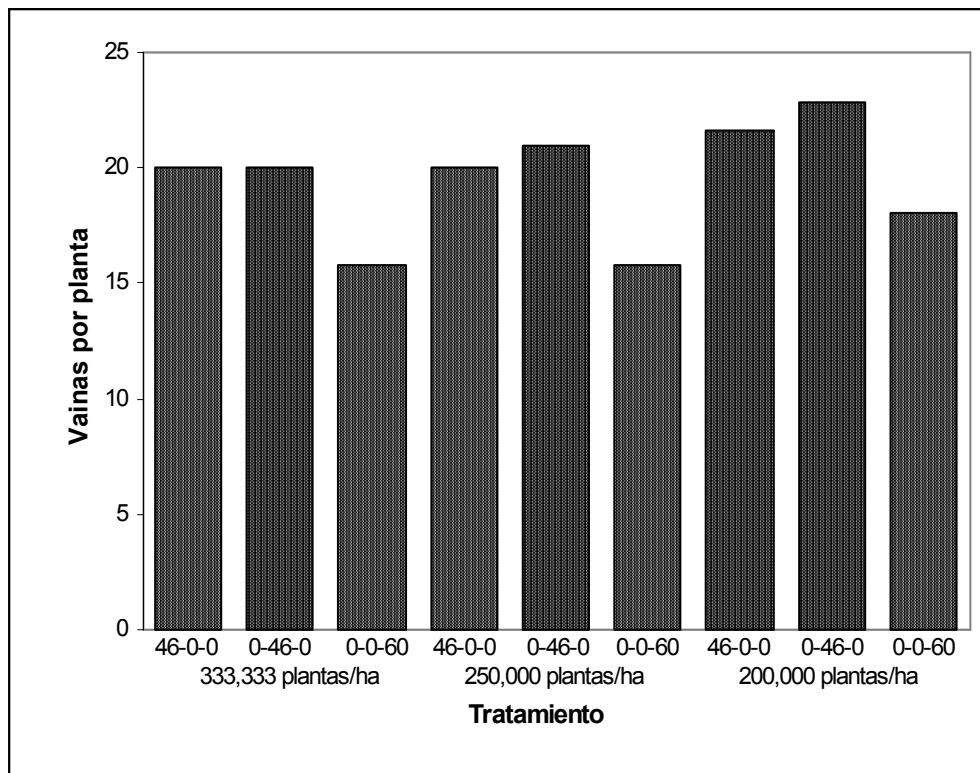
En el caso de la aplicación de la fórmula 15-15-15, el número de vainas por planta mostró tendencia a ser superior en las densidades de población más bajas, y también cuando la aplicación del fertilizante se hizo en el centro de dos posturas (1 chuzazo/dos posturas) (Figura 1). En el primer caso el comportamiento se atribuye a una menor competencia entre plantas por agua, luz y nutrientes y en el segundo a una mejor absorción y menor pérdida de los nutrientes aplicados con el fertilizante.

Figura 1. Vainas por planta en evaluación de densidades de siembra y sitios de colocación del fertilizante fórmula 15-15-15 en frijol variedad ICTA Ligero.



Cuando la fertilización se hizo con fórmulas simples se observó que el número de vainas por planta fue superior al aplicar las fórmulas 0-46-0 ó 46-0-0, en comparación con la aplicación de 0-0-60 (Figura 2). Esto se explica por el papel esencial que juegan ambos nutrientes en la formación de grano y la deficiencia que tenía el suelo utilizado en la presente investigación. Además, es conocido que la planta debe disponer de cierto nivel de nitrógeno para iniciar el proceso de fijación simbiótica del mismo, y se ha observado cierto sinergismo entre dichos elementos.

Figura 2. Vainas por planta en evaluación de densidades de siembra y fórmulas simples de fertilizantes en fríjol variedad ICTA Ligero.



8.4 Número de granos por vaina:

El comportamiento de esta variable en los tratamientos evaluados se muestra en el Cuadro 4.

En las tres densidades de siembra y cinco niveles de $N-P_2O_5$ (con la fórmula 20-20-0) evaluados, se observó tendencia a incrementar el número de granos por vaina cuando el fertilizante se aplicó en el centro de cada dos posturas.

Dentro de los niveles y sitios de aplicación del fertilizante no se observó ninguna tendencia al variar la densidad de población.

Respecto a los niveles de $N-P_2O_5$, considerando las tres densidades de siembra y los tres sitios de aplicación, no se marcó una tendencia clara al variar el nivel de fertilización, a excepción de 0 kg ha^{-1} , el cual fue superado por el resto de niveles.

Cuadro 4. Granos por vaina en plantas de frijol bajo diferentes tratamientos de densidades de población, niveles de $N-P_2O_5$ y sitios de aplicación del fertilizante (20-20-0).

Tratamiento		Nivel de $N-P_2O_5$ aplicado (kg ha^{-1})					Promedio
Densidad	Sitio de aplicación	0	20	40	60	80	
333.333 plantas/ha	Por postura	2.2	2.5	2.7	2.7	2.6	2.5
	Al centro de 2 posturas	2.3	2.8	2.6	2.7	3.3	2.7
	Al centro de 4 posturas	1.8	2.3	2.5	2.6	2.3	2.3
	Promedio	2.1	2.5	2.6	2.7	2.7	2.5
250,000 plantas/ha	Por postura	2.0	2.4	2.4	2.5	2.5	2.4
	Al centro de 2 posturas	2.0	2.6	2.8	2.9	2.6	2.6
	Al centro de 4 posturas	1.8	1.7	2.4	2.0	2.3	2.0
	Promedio	1.9	2.2	2.5	2.5	2.5	2.3
200,000 plantas/ha	Por postura	2.2	2.5	2.2	2.9	2.9	2.6
	Al centro de 2 posturas	2.4	2.5	2.9	2.9	3.0	2.7
	Al centro de 4 posturas	2.1	2.4	2.1	2.7	2.7	2.4
	Promedio	2.2	2.5	2.4	2.8	2.9	2.6

8.5 Rendimiento de grano:

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza (Cuadro 5), el rendimiento de grano fue afectado significativamente por las densidades de población, los niveles de fertilización (con la fórmula comercial 20-20-0), el sitio de fertilización y por la interacción de éste último con los niveles de fertilización.

Las pruebas de medias Duncan (Cuadros 6, 7 y 8) indican que dentro del intervalo evaluado, el rendimiento aumentó conforme se incrementó la densidad de población en el cultivo, lo que dio como resultado que el rendimiento fuera superior en la densidad de 333,333 plantas ha⁻¹; esto se atribuye a que la arquitectura de la variedad permite dicho manejo. Con respecto a los niveles de N-P₂O₅ aplicados, de 20 a 80 kg ha⁻¹ fueron iguales entre sí, y superiores al de 0 kg ha⁻¹, lo que denota respuesta positiva de la planta a la aplicación del fertilizante. Referente al sitio de colocación del fertilizante, estadísticamente resultó mejor e igual fertilizar las posturas en forma individual (1 chuzazo/postura), ó colocar el fertilizante para dos posturas en el centro de ambas (1 chuzazo/dos posturas)

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en tratamientos de densidades de siembra, niveles de N-P₂O₅ y lugar de aplicación del fertilizante fórmula 20-20-0, en frijol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Prob. > F.
Modelo	89	159004730	1786570	9.75	0.0001 **
Repeticiones (R)	3	1465274	488425	2.67	0.0525 NS
Densidades (D)	2	72328891	36164445	197.39	0.0001 **
R * D	6	746677	124446	0.68	0.6667 NS
Niveles fertilización (F)	4	27738730	6934683	37.85	0.0001 **
	8	1796488	224561	1.23	0.2933 NS
D*F	36	18286719	507964	2.77	0.0001 **
R*D*F	2	27919532	13959766	76.19	0.0001 **
Sitio fertilización (L)	4	1649785	412446	2.25	0.0697 NS
D*L	8	3796925	474616	2.59	0.0135 *
F*L	16	3275708	204732	1.12	0.3517 NS
D*F*L					

R² = 0.9060 Coeficiente de variación = 16.2 %

Cuadro 6. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) sometido a diferentes densidades de siembra, fertilizado con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Densidad (plantas ha^{-1})	Media (kg ha^{-1})	Agrupación Duncan
333,333	3471	A
250,000	2501	B
200,000	1936	C

Cuadro 7. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) sometido a diferentes niveles de fertilización N- P_2O_5 con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Nivel (kg ha^{-1})	Media (kg ha^{-1})	Agrupación Duncan
40	2945	A
80	2906	A
20	2787	A
60	2668	A
0	1875	B

Cuadro 8. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de Frijol (kg ha^{-1}) en diferentes modalidades de sitio de colocación del fertilizante con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Localización del fertilizante	Media (kg ha^{-1})	Agrupación Duncan
Al centro de dos posturas	2991	A
Aplicación por postura	2831	A
Al centro de cuatro posturas	2087	B

La interacción significativa niveles de N- P_2O_5 por sitio de aplicación del fertilizante (Figura 3) muestra claramente la similitud de rendimiento cuando se hace la fertilización por postura y en medio de dos posturas, modalidades que superaron claramente a la de fertilizar en medio de

cuatro posturas. Por otra parte, es clara la tendencia de que el rendimiento se incrementó al aplicar fertilizante en comparación con el testigo absoluto. Resulta sin embargo complejo el comportamiento del rendimiento al aumentar los niveles de fertilizante; esto último se atribuye a diferencias de población al momento de la cosecha, por muerte de plantas durante el transcurso del período de producción.

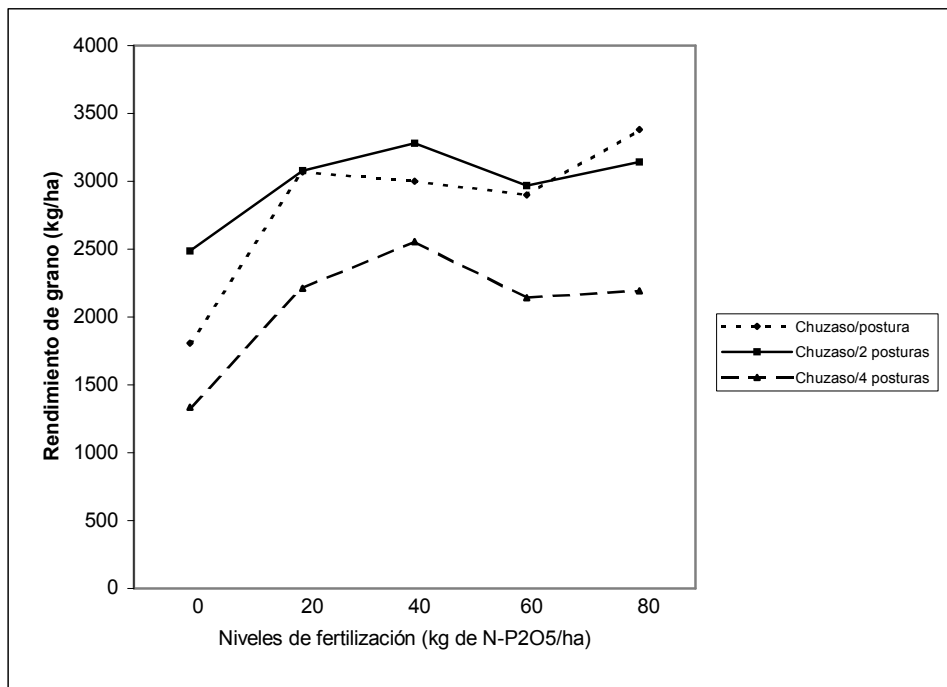


Figura 3. Interacción niveles de fertilización por sitio de aplicación del fertilizante fórmula 20-20-0, para la variable rendimiento de grano en frijón variedad ICTA Ligero.

Al utilizar la fuente comercial 15-15-15, el rendimiento de grano fue significativamente afectado por la densidad de población y el sitio de aplicación del fertilizante (Cuadro 9).

Las pruebas de medias Duncan (Cuadros 10 y 11) indican que la mejor densidad, al igual que lo mostrado para la fórmula 20-20-0, fue la de 333,333 plantas/ha, superior a 250,000 y 200,000 plantas/ha; lo que se atribuye, como ya se mencionó, a que la arquitectura de ICTA Ligero permite manejarla en forma densa. En cuanto al sitio de aplicación del fertilizante, éste puede depositarse

en cada postura ó colocar la cantidad de dos posturas en el centro de ambas; esto último resulta importante, toda vez que significa un ahorro de mano de obra para llevar a cabo la actividad de fertilización.

Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en tratamientos de densidades de siembra y lugar de aplicación del fertilizante fórmula 15-15-15, en fríjol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Prob. > F.
Modelo	17	27652842	1626638	5.56	0.0004 **
Repeticiones (R)	3	905133	301711	1.03	0.4021 NS
Densidades (D)	2	14497535	7248768	24.79	0.0001 **
R * D	6	3816292	636049	2.17	0.0941 NS
Sitio fertilización (L)	2	7178501	3589251	12.27	0.0004 **
D*L	4	1255380	313845	1.07	0.3987 NS

$R^2 = 0.84$

Coefficiente de variación = 20.6 %

Cuadro 10. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de fríjol (kg ha^{-1}) sometido a diferentes densidades de siembra, fertilizado con la fórmula comercial 15-15-15. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Densidad (plantas ha^{-1})	Media (kg ha^{-1})	Agrupación Duncan
333,333	3469	A
250,000	2447	B
200,000	1943	B

Cuadro 11. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) en diferentes modalidades de sitio de colocación del fertilizante con la fórmula comercial 15-15-15. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Localización del fertilizante	Media (kg ha^{-1})	Agrupación Duncan
Al centro de dos posturas	3161	A
Aplicación por postura	2630	A
Al centro de cuatro posturas	2068	B

Al utilizar fórmulas simples (46-0-0, 0-46-0 y 0-0-60), el rendimiento fue afectado significativamente por las densidades y por las fuentes de fertilizante (Cuadro 12); lo que se atribuye, principalmente al estado de fertilidad que tenía el área utilizada en la presente investigación y, a las necesidades nutritivas del frijol.

Los resultados de las Pruebas de Medias (Cuadros 13 y 14), muestran que la mejor densidad fue la de 333,333 plantas ha^{-1} . Se obtuvo un mejor rendimiento al aplicar 46-0-0 ó 0-46-0 en comparación con 0-0-60; esto se atribuye a que el suelo utilizado tenía suficiencia de potasio, no así de nitrógeno y fósforo. Para esta variable fue más significativo el efecto del elemento nitrógeno. En general los rendimientos que se obtuvieron fueron inferiores a aquellos de los tratamientos tratados con las fórmulas 15-15-15 ó 20-20-0, lo que se explica por la nutrición más completa que se tiene al aplicar éstas últimas.

Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en tratamientos de densidades de siembra y fuentes de fertilizante, en frijol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Prob. > F.
Modelo	17	31492744	1852514	5.45	0.0004 **
Repeticiones (R)	3	1761083	587028	1.73	0.1972 NS

Densidades (D)	2	10564722	5282361	15.54	0.0001 **
R * D	6	827652	137942	0.41	0.8654 NS
Fuente (Fu)	2	17011893	8505947	25.03	0.0001 **
D*Fu	4	1327394	331848	0.98	0.4448 NS

$R^2 = 0.84$

Coeficiente de variación = 25.9 %

Cuadro 13. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) sometido a diferentes densidades de siembra, colocando el fertilizante al centro de cada dos posturas. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Densidad (plantas ha^{-1})	Media (kg ha^{-1})	Agrupación Duncan
333,333	2930	A
250,000	2208	B
200,000	1605	C

Cuadro 14. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento de grano de frijol (kg ha^{-1}) fertilizado con diferentes fuentes comerciales y colocando el producto al centro de cada dos posturas. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Fuente fertilizante	Media (kg ha^{-1})	Agrupación Duncan
46-0-0	3128	A
0-46-0	2164	B
0-0-60	1450	C

8.6 Peso de 100 granos:

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza (Cuadro 15), ésta variable fue afectada por los factores evaluados, así como por las interacciones de los mismos, a excepción de niveles de fertilización por sitio de aplicación del fertilizante. Esto se explica por el diferente grado de competencia por luz, agua y nutrientes entre plantas en los distintos tratamientos.

Cuadro 15. Resultados del análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (g) en tratamientos de densidades de siembra, niveles de N-P₂O₅ y lugar de aplicación del fertilizante fórmula 20-20-0, en frijol variedad ICTA Ligerio. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Prob. > F.
Modelo	89	178.50633	2.00569	5.15	0.0001 **
Repeticiones (R)	3	3.29733	1.09911	2.82	0.0434 *
Densidades (D)	2	14.19600	7.09800	18.21	0.0001 **
R * D	6	3.63867	0.60644	1.56	0.1693 NS
Niveles fertilización (F)	4	58.86356	14.71589	37.75	0.0001 **
D*F	8	20.34511	2.54314	6.52	0.0001 **
D*F	36	12.38733	0.34409	0.88	0.6559 NS
R*D*F	2	28.02700	14.01350	35.95	0.0001 **
Sitio fertilización (L)	4	11.99900	2.99975	7.70	0.0001 **
D*L	8	6.33078	0.79135	2.03	0.0515 NS
F*L	16	19.42156	1.21385	3.11	0.0003 **
D*F*L					

R² = 0.8358

Coefficiente de variación = 3 %

La Prueba de medias (Cuadro 16), muestra que los mayores pesos se obtuvieron en las densidades de siembra de 200,000 y 250,000 plantas ha⁻¹, lo que se explica por la menor competencia en éstas en comparación con la de 333,333 plantas ha⁻¹. Sin embargo, de acuerdo a lo anotado para la variable rendimiento de grano, si bien se tuvieron mayores pesos de 100 granos en las densidades más bajas, la mayor cantidad de plantas en la densidad de 333,333 plantas ha⁻¹ dio como resultado un mayor rendimiento de grano por unidad de área en el mismo.

Cuadro 16. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol sometido a diferentes densidades de siembra, fertilizado con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Densidad (plantas ha ⁻¹)	Media (g)	Agrupación Duncan
200,000	21.3467	A
250,000	21.2167	A
333,333	20.6967	B

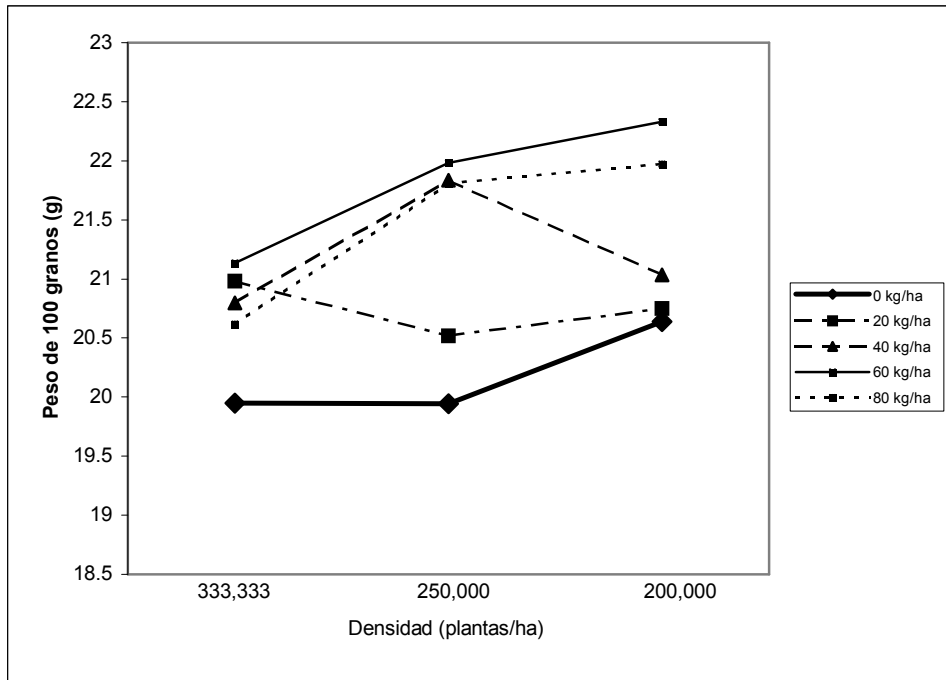
La prueba de medias para los niveles de fertilización (Cuadro 17), muestra que se obtuvo un mayor peso de 100 granos con la aplicación de cualquiera de los niveles de 20 a 80 kg ha⁻¹, en comparación con el de 0 kg ha⁻¹. Resultó superior el nivel de 60 kg ha⁻¹, seguido por los niveles de 80 y 40 kg ha⁻¹, éstos últimos estadísticamente iguales. Probablemente la diferencia que se marca entre 60 y 80 kg ha⁻¹, pudiera deberse más a error humano en el muestreo, ya que el resto de tratamientos siguen una relación directa entre los pesos obtenidos y la cantidad de fertilizante aplicado.

Cuadro 17. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol sometido a diferentes niveles de fertilización N-P₂O₅ con la fórmula comercial 20-20-0. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

Nivel (kg ha ⁻¹)	Media (g)	Agrupación Duncan
60	21.8167	A
80	21.4667	B
40	21.2222	B
20	20.7500	C
0	20.1778	D

La interacción significativa densidad por niveles de N-P₂O₅ se debe a que para 0, 60 y 80 kg ha⁻¹, se obtuvo mayor peso en las densidades más bajas; situación contraria se observó para el nivel de 20 kg ha⁻¹, y en el caso de 40 kg ha⁻¹ el peso fue menor a 200,000 plantas ha⁻¹ que a 250,000 plantas ha⁻¹ (Figura 4). Los últimos dos casos se atribuyen al efecto del azar al tomar los 100 granos de frijol.

Figura 4. Interacción densidad por niveles de $N P_2O_5$ para la variable peso de 100 granos (g), en frijol variedad ICTA Ligero.



Con relación al sitio de aplicación del fertilizante, se tuvo un mejor peso de 100 granos cuando el fertilizante se aplicó en el centro de cada dos posturas (Cuadro 18), éste manejo resultó superior a la aplicación por postura y a la de aplicar al centro de cada cuatro posturas. Esto se atribuye a una más eficiente utilización de los nutrimentos.

Cuadro 18. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol bajo diferentes modalidades de sitio de colocación del fertilizante con la fórmula comercial 20-20-0

Sitio de aplicación del fertilizante	Media (kg ha ⁻¹)	Agrupación Duncan
Al centro de dos posturas	21.5533	A
Aplicación por postura	21.1183	B
Al centro de cuatro posturas	20.5883	C

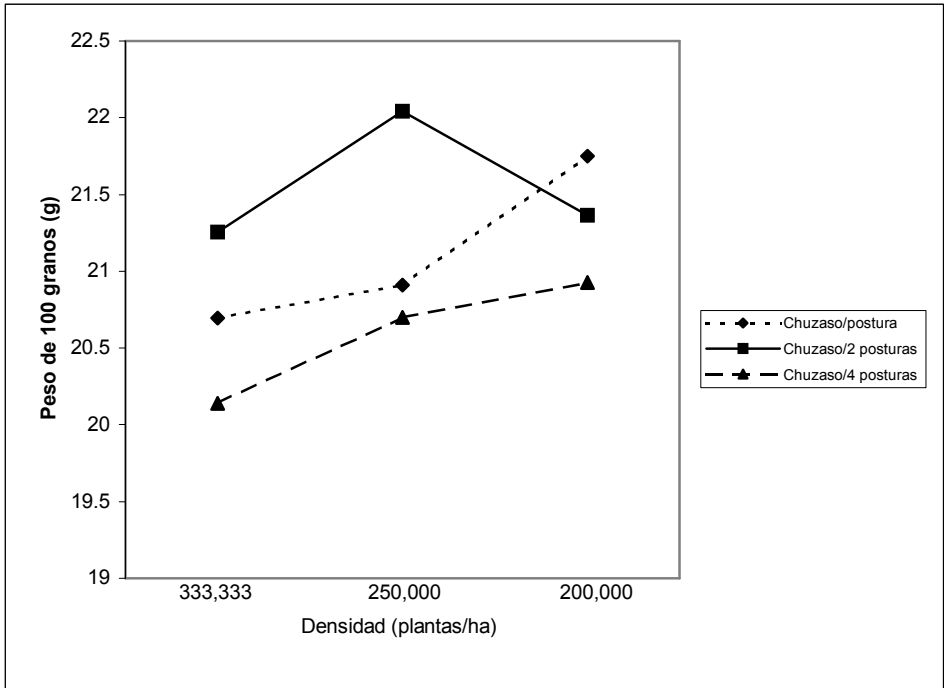


Figura 5. Interacción densidad por sitio de aplicación del fertilizante 20-20-0 para la variable peso de 100 granos, en frijol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

La interacción significativa densidad por sitio de aplicación se debe a que cuando se fertilizó en el centro de dos posturas, el peso resultó ser mayor en la densidad de 250,000 plantas ha⁻¹ en comparación con la de 200,000 plantas ha⁻¹ (Figura 5); sin embargo, esto se atribuye a efecto del azar al tomar los 100 granos.

Cuando se aplicó la fórmula 15-15-15, el peso de 100 granos estuvo significativamente afectado por las densidades y el sitio de fertilización, así como por la interacción de ambos factores (Cuadro 19).

Cuadro 19. Resultados del análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (g) en tratamientos de densidades de siembra y lugar de aplicación del fertilizante fórmula 15-15-15, en frijol variedad ICTA Ligero. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Prob. > F.
Modelo	17	5.27639	0.31038	12.51	0.0001 **
Repeticiones (R)	3	0.45417	0.15139	6.10	0.0047 **
Densidades (D)	2	1.42889	0.71444	28.79	0.0001 **
R * D	6	0.38667	0.06444	2.60	0.0543 NS
Sitio fertilización (L)	2	2.60222	1.30111	52.43	0.0001 **
D*L	4	0.40444	0.10111	4.07	0.0159 *

$R^2 = 0.9219$

Coefficiente de variación = 1 %

Los mayores pesos de 100 granos se obtuvieron en las densidades más bajas (Cuadro 20), lo que se atribuye a menor competencia en éstas en comparación con la densidad de 333,333 plantas ha⁻¹. Esta variable, sin embargo, no guardó relación directa con el rendimiento total de grano, ya que la mayor cantidad de plantas en la densidad de 333,333 plantas ha⁻¹, dio como resultado un mayor peso de grano por unidad de área

Cuadro 20. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol bajo a diferentes densidades de siembra, fertilizado con la fórmula comercial 15-15-15.

Densidad (plantas ha ⁻¹)	Media (g)	Agrupación Duncan
200,000	20.8583	A
250,000	20.6750	A
333,333	20.3750	B

Al igual que lo ocurrido con la aplicación de la fórmula 20-20-0, se obtuvo un mayor peso de 100 granos cuando la fertilización se hizo al centro de cada dos posturas (Cuadro 21), esto resulta de importancia, toda vez que existe un ahorro de mano de obra en comparación con la aplicación por postura.

De acuerdo a la interacción densidades por sitio de localización del fertilizante, el comportamiento anterior fue menos marcado cuando la fertilización se hizo al centro de cada cuatro posturas (Figura 6).

Cuadro 21. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en fríjol bajo diferentes modalidades de sitio de aplicación del fertilizante fórmula comercial 15-15-15

Sitio de aplicación del fertilizante	Media (kg ha ⁻¹)	Agrupación Duncan
Al centro de dos posturas	20.9917	A
Aplicación por postura	20.5750	B
Al centro de cuatro posturas	20.3417	B

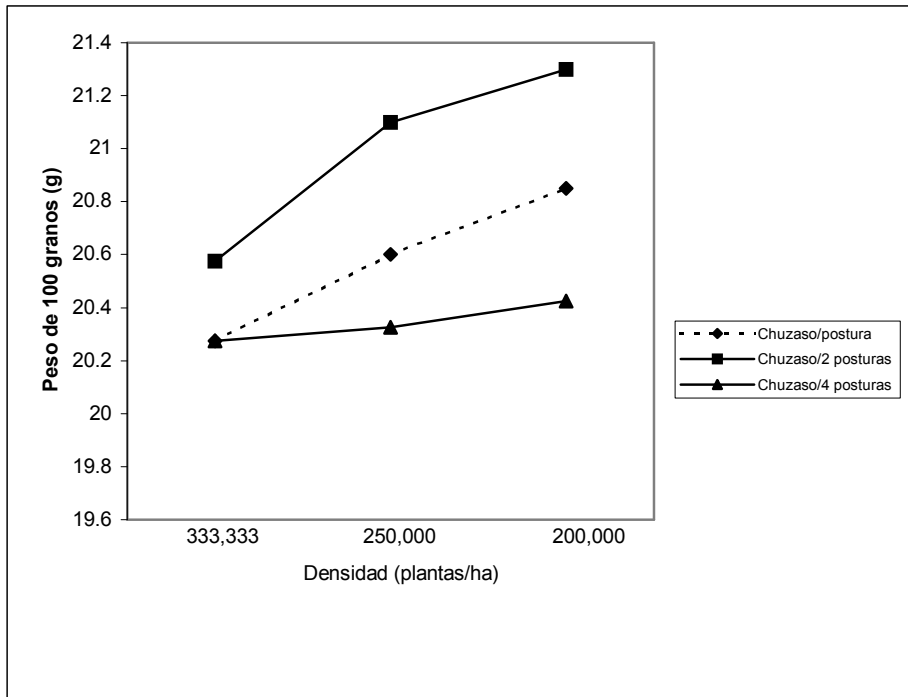


Figura 6. Interacción densidad de siembra por sitio de aplicación del fertilizante.

Cuando se aplicaron distintas fuentes fertilizantes (46-0-0, 0-46-0 y 0-0-60), el análisis de varianza (Cuadro 22) indica que el peso de 100 granos estuvo influido por las densidades de siembra, las fuentes fertilizantes y la interacción de los mismos, esto se atribuye al estado de fertilidad del suelo utilizado en la investigación y a las necesidades nutrimentales del cultivo.

Cuadro 22. Resultados del análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (g), en frijol variedad ICTA Ligero bajo diferentes densidades de siembra y fuentes de fertilizante comercial. Cuyuta, Masagua, Escuintla.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	Prob. > F.
Modelo	17	8.31583	0.48917	41.60	0.0001 **
Repeticiones (R)	3	0.86972	0.28991	24.65	0.0001 **
Densidades (D)	2	0.23167	0.11583	9.85	0.0013 **
R * D	6	0.10611	0.01769	1.50	0.2329 NS
Fuente (Fu)	2	3.80167	1.90083	161.65	0.0001 **
D*Fu	4	3.30667	0.82667	70.30	0.0001 **

$R^2 = 0.9752$

Coeficiente de variación = 1 %

Al igual que con las fuentes 20-20-0 y 15-15-15, los mayores pesos se obtuvieron en la densidad más baja (Cuadro 23), lo que se atribuye a que cada planta dispuso de mayor luz, agua y nutrientes, lo que le permitió formar un grano más grande. El comportamiento anterior es válido para las fuentes 46-0-0 y 0-46-0; para 0-0-60 el comportamiento fue inverso, es decir, se obtuvo un mayor peso en la densidad de 333,333 plantas ha⁻¹; siendo esta la razón de que la interacción fuente por densidad resultara significativa (Figura 7). Ya se ha mencionado que este grano de tamaño más grande no necesariamente se reflejó en el rendimiento total, toda vez que el mayor número de plantas en la densidad alta (333,333 plantas ha⁻¹) dio como resultado un mayor rendimiento por unidad de área.

Cuadro 23. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en fríjol variedad ICTA Ligero bajo diferentes densidades de siembra, colocando el fertilizante al centro de cada dos posturas.

Densidad (plantas ha ⁻¹)	Media (g)	Agrupación Duncan
200,000	21.3500	A
250,000	21.2167	B
333,333	21.1583	B

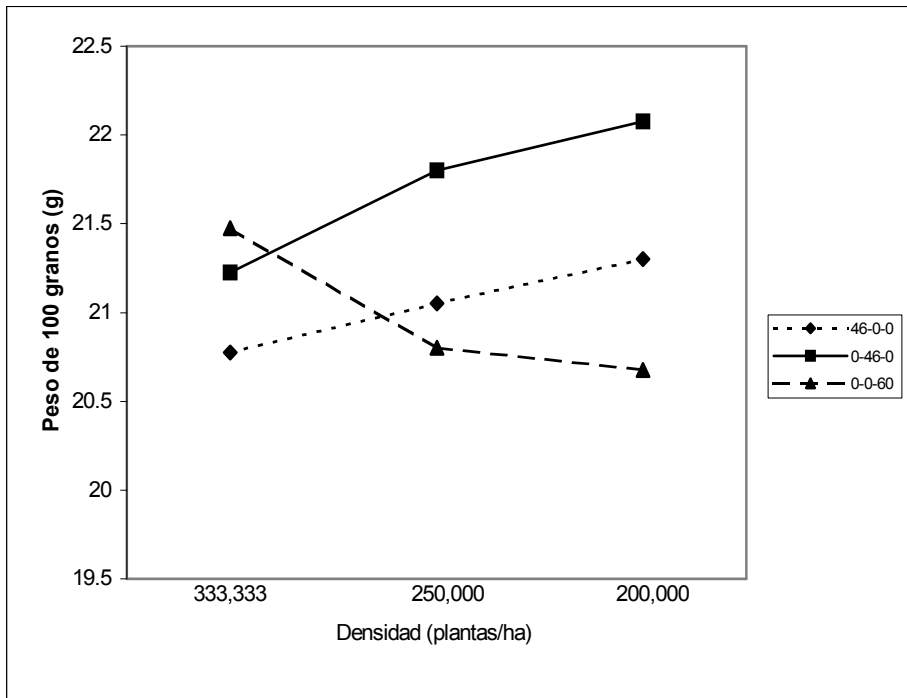


Figura 7. Interacción fuente fertilizante por densidad para la variable peso de 100 granos.

De las fórmulas utilizadas, se tuvo un mayor peso de 100 granos con 0-46-0 (Cuadro 24), lo que se atribuye al papel esencial del fósforo en lo referente a la formación de grano.

Cuadro 24. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable peso de 100 granos (g), en frijol variedad ICTA Ligero fertilizado con diferentes fuentes comerciales y colocando el producto al centro de cada dos posturas.

Fuente fertilizante	Media (g)	Agrupación Duncan
0-46-0	21.7000	A
46-0-0	21.0417	B
0-0-60	20.9833	B

IX. CONCLUSIONES

1. Para las condiciones edafoclimáticas en que se llevó a cabo la investigación, el efecto en el rendimiento de grano, peso de 100 granos, vainas por planta y granos por vaina del frijol variedad ICTA Ligero, resultado de la aplicación de distintos niveles de N-P₂O₅ fue diferente. Por lo anterior, para estas variables se rechaza la primera hipótesis.
2. El rendimiento de grano, peso de 100 granos, vainas por planta y granos por vaina del frijol variedad ICTA Ligero fueron afectados significativamente por la densidad de siembra utilizada. Por lo anterior, para estas variables se acepta la segunda hipótesis planteada. La densidad que reportó mejores rendimientos de grano fue la de 333,333 plantas ha⁻¹ (0.3 m entre surcos y 0.3 m entre posturas, 3 plantas por postura) con 3471 kg ha⁻¹.
3. La localización del fertilizante, respecto a las posturas de frijol, afectó significativamente el rendimiento de grano, peso de 100 granos, vainas por planta y granos por vaina de la variedad de frijol ICTA Ligero. Por lo anterior, para estas variables se acepta la tercera hipótesis planteada en el presente experimento. Se determinó que al aplicar el fertilizante al centro de dos posturas se obtuvo el mejor rendimiento (2,991 kg ha⁻¹); además evidentemente conveniente por la reducción del tiempo (50%) empleado en el proceso de fertilización.
4. La fertilización del frijol ICTA Ligero con la fórmula 20-20-0 dentro del rango de niveles de 0 hasta 80 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅, no afectó significativamente las variables: número de días a floración y número de días a madurez fisiológica. Similar situación se observó al aplicar 15-15-15, 40 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O y la aplicación de 40 kg ha⁻¹ de N (fuente 46-0-0), 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fuente 46-0-0) ó 40 kg ha⁻¹ de K₂O (fuente 0-0-60). Estas variables tampoco fueron afectadas por la densidad de siembra y sitio de aplicación del fertilizante. Por lo anterior, para las mismas se rechazan las hipótesis planteadas en el trabajo.

5. Para condiciones edafoclimáticas similares a las de Cuyuta, Masagua, Escuintla, el rendimiento del frijol variedad ICTA Ligerito es superior al manejarse a una densidad de población de 333,333 plantas ha⁻¹ (0.3 m entre surcos y 0.3 m entre posturas, 3 plantas por postura). Si se fertiliza en forma manual (con chuzo), debe colocarse el fertilizante correspondiente a cada dos posturas en el centro de ellas. Para la fertilización pueden usarse cualquiera de las fórmulas 20-20-0 ó 15-15-15.

X. RECOMENDACIONES

- 1 Dada la heterogeneidad observada, se recomienda hacer una nueva evaluación de niveles de fertilización, utilizando las fuentes comerciales 20-20-0 y 15-15-15. Usar distanciamiento entre surcos de 0.3 m ($333,333 \text{ plantas ha}^{-1}$) considerando que fue la densidad que mejor respuesta obtuvo en el presente estudio. Colocar el fertilizante correspondiente a dos posturas, en el centro de ellas.
- 2 Que el gobierno y ONG's formen entes encargados de transferencia agrícola y que los mismos, para el caso del fríjol ICTA Ligero, transmitan la recomendación de sembrarlo a distancias de 0.3 metros entre surcos y entre posturas y el fertilizante colocarlo al centro de cada dos posturas.

XII. BIBLIOGRAFIA

1. Álvarez, C. 1988. Evaluación de nitrógeno, potasio y densidades de siembra en el rendimiento de frijol ejotero (*P. vulgaris* L.) variedad ICTA California 124c en San Sebastián, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 44 p.
2. Azcón-Bieto, J; Talón, M. 2003. Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona, España, McGraw-Hill Interamericana. 522 p.
3. Carrillo, E. 1998. Evaluación bajo invernadero de la eficiencia de cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* en la fijación de nitrógeno atmosférico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 55 p.
4. CIAT, CO. 1979. Programa de frijol: informe de resultados. Colombia. p. 77-78.
5. _____. 1985. Guía de estudio etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Cali, Colombia. Audiotutorial.
6. Cooke, G. 1981. Fertilizantes y sus usos. Trad. Alonso Blackaller Valdez. México, Continental. 179 p.
7. Cronquist, A. 1981. An integral system of classification of flowering plants. New York, US, Columbia, University Press. 1262 p.
8. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
9. Fagaria, N; Baligar, V. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. 2 ed. US, Marcel Dekker. 624 p.
10. FAO, MX. 1979. Suelos y fertilización. México. 72 p.
11. FNUAP (Fondo de Población de las Naciones Unidas, US). 2004. Informe del fondo de población de las Naciones Unidas. New York, US. 11 p.
12. Hernández, F; Páez, G. 1971. Relación de la densidad espacial de siembra con la producción de frijol. In Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (17, 1971, PA). Memorias. Panamá, s.e. p. 64-67.
13. ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, GT). 1984. Memoria anual de labores. Guatemala. s.p.

14. _____. 1998. Producción artesanal de semilla de frijol: manual para agricultores. Guatemala. 65 p.
15. Lemus, J. 1986. Evaluación de cuatro materiales promisorios precoces de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes al virus del mosaico dorado, en nueve localidades del departamento de Jutiapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 42 p.
16. López, J. 1989. Evaluación de tres niveles de fertilización y tres densidades de siembra en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) criollo en la comunidad "El Chichipate", El Estor, Izabal. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 56 p.
17. Masaya, P. 1968. Estudio sobre el abonamiento y densidad de siembra del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 70 p.
18. Molina, C. 1972. Frijol: como aumentar su rendimiento en Guatemala. In DIGESA (Dirección General de Servicios Agrícolas, GT). Proyecto de investigación de frijol en Guatemala. Guatemala. 60 p.
19. Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Belmont, California, US, Iberoamérica. 589 p.
20. Poey, D. 1979. Los componentes del rendimiento y su aplicación en la investigación de cultivos. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Boletín Técnico no. 3, 17 p.
21. Salisbury, F; Ross, C. 2000. Fisiología de las plantas 1: células: agua, soluciones y superficies. España, Paraninfo Thomson Learning. 305 p.
22. Smil, V. 1997. Global population and the nitrogen cycle. Scientific American 277:58-63.
23. Thevenet, G. 1995. Du principe de vegetation á la fertilisation raisonnée. Phytoma-La Defense des Vegetaux no. 475:21-23.
24. Vásquez, M. 1984. Efecto de sequía en distintas épocas en el rendimiento y sus componentes en cinco genotipos precoces e intermedios de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 58 p.

XIII. ANEXOS

Figura 9: Estructura de la herramienta denominada chuzo.

H = 1.50 metros

D = 0.05 metros

