

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFEECTO DE FERTILIZACIÓN N-P-K EN LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS
Y RENDIMIENTO DE LA VARIEDAD DE FRIJOL ICTA HUNAPÚ,
EN LOCALIDADES DE CHIMALTENANGO
TESIS DE GRADO

GUSTAVO ALBERTO ORDOÑEZ MORÁN
CARNET 20962-02

ESCUINTLA, SEPTIEMBRE DE 2014
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFECTO DE FERTILIZACIÓN N-P-K EN LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS
Y RENDIMIENTO DE LA VARIEDAD DE FRIJOL ICTA HUNAPÚ,
EN LOCALIDADES DE CHIMALTENANGO
TESIS DE GRADO

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

POR
GUSTAVO ALBERTO ORDOÑEZ MORÁN

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

ESCUINTLA, SEPTIEMBRE DE 2014
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: DR. CARLOS RAFAEL CABARRÚS PELLECCER, S. J.
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. EDWIN LEONEL ARGUETA VENTURA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES
ING. JUAN CARLOS BARRUNDIA REYES
ING. MANUEL RODRIGO SALAZAR RECINOS

Guatemala, Octubre de 2014.

Miembros
Consejo de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Guatemala

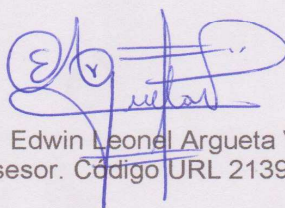
Honorables Miembros:

Por este medio informo a ustedes que he asesorado al estudiante Gustavo Alberto Ordoñez Morán, carné: 2096202, en la elaboración de su trabajo final de graduación titulado: "Efecto de fertilización N-P-K en las características agronómicas y rendimiento de la variedad de frijol ICTA Hunapú, en localidades de Chimaltenango".

Considero que el mismo cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, de la Universidad Rafael Landívar, por lo que sugiero su aprobación.

Sin otro particular,

Atentamente:



Ing. Agr. Edwin Leonel Argueta Ventura
Asesor. Código URL 21390



Universidad
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06183-2014

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante GUSTAVO ALBERTO ORDOÑEZ MORAN, Carnet 20962-02 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 0688-2014 de fecha 13 de septiembre de 2014, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFFECTO DE FERTILIZACIÓN N-P-K EN LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS
Y RENDIMIENTO DE LA VARIEDAD DE FRIJOL ICTA HUNAPÚ,
EN LOCALIDADES DE CHIMALTENANGO

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

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 25 días del mes de septiembre del año 2014.

ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTO

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

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

Ing. Adán Rodas, por su asesoría y por brindarme el apoyo necesario para desarrollar la presente investigación.

Ing. Alex Marroquín, por su apoyo, asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quien siempre me da su infinito amor, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con la personas que me rodean.

Mis Padres: Gustavo Ordoñez y Sofía Morán a quienes quiero mucho, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos y por su ejemplo a seguir.

Mis hijos (a): Gustavo, Sofía, Ana Cecilia que los amo mucho, por ser la razón de mi esfuerzo, mi alegría y la motivación constante de superación.

Mi Esposa: Sobeyda Rivas por su apoyo incondicional y ser parte de cada momento especial de mi vida.

Mi familia: Abuelos, hermanos, tíos, primos, sobrinos, suegros y cuñados que de una u otra forma han contribuido en mi formación.

Mis amigos: Por su apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo integral, con mucho aprecio.

INDICE GENERAL

	C o n t e n i d o	Página
RESUMEN		i
SUMMARY		ii
I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO	3
2.1	IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN	3
2.2	PRINCIPIOS DE FERTILIZACIÓN MINERAL	4
2.3	ASPECTOS ECONÓMICOS SOBRE LA PRÁCTICA DE FERTILIZACIÓN	5
2.4	FUNCIONES DE LOS MACRONUTRIENTES EN LA PLANTA	5
2.4.1	Nitrógeno	5
2.4.2	Fósforo	7
2.4.3	Potasio	8
2.5	VARIEDAD DE FRIJOL ARBUSTIVO ICTA HUNAPÚ	10
2.6	ESTUDIOS REALIZADOS POR EL ICTA EN EL TEMA DE FERTILIZACIÓN EN FRIJOL	11
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	12
IV.	OBJETIVOS	13
4.1	GENERAL	13
4.2	ESPECÍFICOS	13
V.	HIPÓTESIS	14
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	15
6.1	LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO	15
6.2	MATERIAL EXPERIMENTAL	15
6.3	FACTOR ESTUDIADO	15
6.4	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	15

6.5	DISEÑO EXPERIMENTAL	16
6.6	MODELO ESTADÍSTICO	16
6.7	UNIDAD EXPERIMENTAL	17
6.8	CROQUIS DE CAMPO	17
6.9	MANEJO DEL EXPERIMENTO	18
6.9.1	Preparación del terreno	18
6.9.2	Siembra	18
6.9.3	Control de malezas	18
6.9.4	Fertilización	18
6.9.5	Control de plagas	19
6.9.6	Control de enfermedades	19
6.9.7	Cosecha	20
6.10	VARIABLES DE RESPUESTA	20
6.10.1	Vainas por planta (número)	20
6.10.2	Granos por vaina (número)	20
6.10.3	Peso de 100 granos (g)	20
6.10.4	Rendimiento de grano (kg/ha)	21
6.11	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	21
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
7.1	VAINAS POR PLANTA	22
7.2	GRANOS POR VAINA	27
7.3	PESO DE 100 GRANOS	32
7.4	RENDIMIENTO DE GRANO	37
VIII.	CONCLUSIONES	42
IX.	RECOMENDACIONES	43
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
XI.	ANEXO	46

INDICE DE CUADROS

	T í t u l o	P á g i n a
Cuadro 1	Tratamientos de fertilización N-P-K evaluados en la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.	16
Cuadro 2	Resumen de los análisis de varianza para la variable vainas por planta, en la variedad de frijol ICTA Hunapú, en la evaluación de tratamientos de fertilización N-P-K en cinco localidades de Chimaltenango.	23
Cuadro 3	Prueba de medias Tukey (0.05) para la variable vainas por planta, en frijol variedad ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.	24
Cuadro 4	Vainas por planta en la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú, en la evaluación de ocho tratamientos de fertilización N-P-K, en cinco localidades de Chimaltenango.	25
Cuadro 5	Resumen de los análisis de varianza para la variable granos por vaina, en la variedad de frijol ICTA Hunapú, en la evaluación de tratamientos de fertilización N-P-K en cinco localidades de Chimaltenango.	28
Cuadro 6	Prueba de medias Tukey (0.05) para la variable granos por vaina, en frijol variedad ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.	29
Cuadro 7	Granos por vaina en la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú, en la evaluación de ocho tratamientos de fertilización N-P-K, en cinco localidades de Chimaltenango.	30
Cuadro 8	Resumen de los análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (g), en la variedad de frijol ICTA Hunapú, en la evaluación de tratamientos de fertilización N-P-K en cinco localidades de Chimaltenango.	33
Cuadro 9	Prueba de medias Tukey (0.05) para la variable peso de 100 granos, en frijol variedad ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.	34

Cuadro 10	Peso de 100 granos en la variedad de frijol variedad ICTA Hunapú, en la evaluación de ocho tratamientos de fertilización N-P-K, en cinco localidades de Chimaltenango.	35
Cuadro 11	Resumen de los análisis de varianza para la variable rendimiento de grano de frijol, en la variedad ICTA Hunapú, en la evaluación de tratamientos de fertilización N-P-K en cinco localidades de Chimaltenango.	38
Cuadro 12	Prueba de medias Tukey (0.05) para la variable rendimiento de grano de frijol, variedad ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.	39
Cuadro 13	Rendimiento promedio de grano de frijol, variedad ICTA Hunapú, en la evaluación de ocho tratamientos de fertilización N-P-K, en cinco localidades de Chimaltenango.	40

INDICE DE FIGURAS

	T í t u l o	Página
Figura 1	Aleatorización de los tratamientos en el campo.	17

EFFECTO DE OCHO PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN N-P-K EN LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y RENDIMIENTO DE LA VARIEDAD DE FRIJOL ICTA HUNAPÚ, EN LOCALIDADES DE CHIMALTENANGO

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue cuantificar características agronómicas y el rendimiento de grano de la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú, manejada con ocho programas de fertilización N-P₂O₅-K₂O. Se condujeron cinco experimentos, ubicándolos en los municipios de San José Poaquil, Santa Apolonia, San Juan Comalapa, Zaragoza y Chimaltenango. En todos los casos se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Las variables de respuesta analizadas fueron: Vainas por planta, granos por vaina, peso de 100 granos y rendimiento de grano. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza; cuando se determinaron diferencias significativas se procedió a realizar las respectivas pruebas de medias, utilizando Tukey al 5% de probabilidad de error. Con base en los resultados, se concluyó que las características agronómicas y el rendimiento de grano fueron afectados significativamente por los niveles de N-P₂O₅-K₂O aplicados al cultivo. Así mismo, se recomienda evaluar en un mayor número de localidades, en ensayos de finca agroeconómicos, los tratamientos a) 50 – 60 – 50 kg/ha; b) 100 – 30 – 50 kg/ha; c) 100 – 60 – 50 kg/ha; por otra parte, con el objetivo de disminuir las aplicaciones de nitrógeno, se recomienda que en futuros trabajos se incluya como parte del manejo experimental, la inoculación con *Rhizobium*.

EFFECT OF EIGHT N-P-K FERTILIZATION PROGRAMS IN THE AGRONOMIC CHARACTERISTICS AND YIELD OF THE ICTA HUNAPÚ BEANS VARIETY, IN LOCATIONS OF CHIMALTENANGO

SUMMARY

The objective of this research was to quantify the agronomic characteristics and bean yield of the ICTA Hunapú bush bean variety, managed with eight fertilization programs N-P₂O₅-K₂O. Five experiments were carried out in the municipalities of San José Poaquil, Santa Apolonia, San Juan Comalapa, Zaragoza, and Chimaltenango. In all cases, a complete randomized block design with three replicates was used. The analyzed response variables were: Pods per plant, beans per pod, 100-bean weight and bean yield. The data obtained was subjected to a variance analysis; when significant differences were determined, the corresponding means tests were carried out, using Tukey's test with a 5% probability of error. Based on the results, it was concluded that the agronomic characteristics and the bean yield were significantly affected by the N-P₂O₅-K₂O levels applied to the crop. Additionally, it is recommended to evaluate the following treatments in a greater number of sites, in agroeconomic farm trials: a) 50 – 60 – 50 kg/ha; b) 100 – 30 – 50 kg/ha; and c) 100 – 60 – 50 kg/ha. On the other hand, in order to reduce nitrogen application, it is recommended to include an inoculum of *Rhizobium* as part of the experimental management in the future.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de frijol es de suma importancia en Guatemala en todos los sectores sociales, principalmente en el área rural, ya que forma parte de la dieta diaria de la población.

En América Latina el frijol se cultiva en suelos con condiciones físicas y químicas muy variables, en muchos de ellos las deficiencias nutricionales pueden limitar los rendimientos. Aunque el frijol absorbe cantidades relativamente altas de nitrógeno y de potasio del suelo, la limitante nutricional más común es la deficiencia de fósforo. La deficiencia de nitrógeno es común en los suelos con bajo contenido de materia orgánica, en suelos ácidos con niveles tóxicos de aluminio o manganeso, o en suelos con niveles deficientes de calcio y fósforo, en los cuales se reduce la fijación efectiva de nitrógeno.

Las deficiencias de nitrógeno se controlan por inoculación del suelo con cepas eficientes de bacterias fijadoras de nitrógeno, aplicaciones de abonos verdes y estiércol antes de la siembra, y posteriormente de fertilizantes químicos nitrogenados. Una aplicación de 50 - 100 kilogramos de nitrógeno por hectárea generalmente es suficiente, sin embargo, en algunos suelos se ha obtenido respuesta a la aplicación de 200 - 400 kilogramos de nitrógeno por hectárea, estos se aplican en bandas, durante o después de la siembra. También produce resultados satisfactorios otra aplicación al inicio de la floración.

La deficiencia de fósforo es probablemente el principal problema nutricional del frijol en América Latina. Limita los rendimientos del frijol en muchas áreas de Brasil, Colombia y América Central. La deficiencia de fósforo retarda la floración, y la maduración. Al iniciarse la floración de las plantas deficientes de fósforo las hojas superiores tienen menos de 0.35 % de este elemento. La deficiencia se corrige aplicando superfosfato simple, superfosfato triple o roca fosfórica. Los fertilizantes se pueden aplicar al voleo e incorporar al suelo, excepto el superfosfato triple, el cual debe ser aplicado en bandas, especialmente en suelos con alta fijación de fósforo. El nivel de aplicación depende del contenido de fósforo y la capacidad de fijación que tenga el suelo.

Así también, rara vez se observa la deficiencia de potasio en el frijol, pero puede ocurrir en Oxisoles y Ultisoles de baja fertilidad o en los suelos altos en calcio y magnesio. Al iniciarse la floración, las hojas superiores de las plantas deficientes de este elemento tienen menos de 2 % de potasio, este contenido puede ser inferior cuando las plantas crecen en suelos con contenidos altos de calcio y magnesio. La deficiencia de potasio puede corregirse aplicando en bandas 40 - 80 kilogramos por hectárea en forma de KCl o K_2SO_4 , al hacer la siembra. El K_2SO_4 se recomienda cuando el suelo también tiene problemas de deficiencias de azufre.

La dosificación adecuada de los nutrimentos al cultivo de frijol no solo contribuye a que el agricultor optimice sus recursos económicos, sino que también influye directamente en la conservación de la fertilidad natural de los suelos y disminuye los riesgos de contaminaciones ambientales entre otros, principalmente del recurso agua de los mantos freáticos y otros cuerpos de aguas superficiales, ya sea por lixiviación de nutrimentos o el arrastre de los mismos por las aguas de escorrentía.

En el presente trabajo se evaluó la respuesta de la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú, a la aplicación de ocho programas de fertilización N- P_2O_5 - K_2O , con la finalidad de identificar los mejores tratamientos, para ser evaluados posteriormente en ensayos agroeconómicos.

I. MARCO TEÓRICO

2.1 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 (Thevenet, 1995), que proporcionaron un marcado aumento de la población humana, pasando de unos 2,500 millones de personas en 1950, a unos 6,400 millones en el 2004. 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. (FNUAP, 2004).

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 a 50% la contribución de los fertilizantes inorgánicos N-P-K al aumento de la 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 más dos mil millones de personas (Smil, 1997).

2.2 PRINCIPIOS DE FERTILIZACIÓN MINERAL

En la producción agrícola intervienen distintos factores que actúan entre sí de acuerdo a la llamada “Ley del Mínimo” o de los “Factores Limitantes”. Esta establece lo siguiente: Cuando la producción está condicionada por diversos factores, la misma está determinada por el factor limitante (Rodríguez, 1982).

Los fertilizantes son los elementos nutritivos que se suministran a las plantas para complementar las necesidades nutricionales de su crecimiento y desarrollo. La práctica de fertilización solo es uno de los factores que contribuye al aumento de la producción, pero está íntimamente ligada a los demás. La fertilización será eficiente si se evalúan los distintos factores correlativos. Respecto al cultivo, las variedades tienen distintos comportamientos productivos según las dosis empleadas (Rodríguez, 1982).

Las respuestas del cultivo a la fertilización dependen del estado o nivel de fertilidad del suelo (estado físico - químico) que se conoce a partir de los distintos análisis. Los objetivos de la fertilización se pueden determinar desde el punto de vista del cultivo en sí y desde una perspectiva económica. Tomando como base su crecimiento y su desarrollo normal, la fertilización respecto al cultivo tiende a aumentar la producción general, la calidad del producto y la precocidad del cultivo. Estos efectos están relacionados entre sí y además vinculados al aspecto económico. Los objetivos económicos se pueden sintetizar en: reducción de costos; aumento del beneficio por unidad de superficie y por unidad de fertilizante aplicado (Rodríguez, 1982).

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 o a los ocho días después de la misma, teniendo el cuidado que el fertilizante no entre en contacto con las semillas, contribuyendo a que las raíces lo absorban oportunamente (Poey, 1979).

2.3 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 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 (Fagaria y Balagar, 1997).

2.4 FUNCIONES DE LOS MACRONUTRIENTES EN LA PLANTA

2.4.1 Nitrógeno (N)

El nitrógeno es el elemento más limitativo que hay en casi todos los suelos, por lo que prácticamente siempre hay que suministrarlo en diferentes formas. El nitrógeno es un elemento muy dinámico que entra y sale del sistema de varias maneras (Castellanos, Uvalle y Aguilar, 2000).

Después del agua, el N es el nutriente más importante en el desarrollo de la planta, dado su abundancia en las principales biomoléculas de la materia viva; si a esto añadimos que los suelos suelen ser más deficientes en nitrógeno que en cualquier otro elemento, no resulta extraño que sea, junto con el fósforo y el potasio, el elemento clave en la nutrición mineral. Las formas iónicas preferentes de absorción de nitrógeno por la raíz son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+). Existe también la posibilidad de conseguir N_2 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 amoníaco (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 nitrógeno, dado a que la presencia del ion nitrato se ve regulada por aspectos como la desnitrificación hasta formas gaseosas de nitrógeno, la inmovilización microbiana y la lixiviación, mientras que el ion amonio se ve afectado por su volatilización en forma de amoníaco, su absorción por el coloide arcilloso-húmico del suelo y la nitrificación (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

Es el componente fundamental de todas las moléculas orgánicas involucradas en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal: aminoácidos (proteínas estructurales y enzimas), ácidos nucleicos, clorofila, citocromos, coenzimas, hormonas y otros compuestos nitrogenados con funciones variadas (ureidos, amidas, alcaloides, etc.). Por lo tanto, participa activamente en los principales procesos metabólicos: la fotosíntesis, la respiración, la síntesis proteica (Bertsch, 1995).

Entre los efectos que causa el nitrógeno en las plantas están: (Bertsch, 1995)

- Acentúa el color verde del follaje
- Confiere succulencia a los tejidos
- Favorece el desarrollo exuberante del follaje
- Puede aumentar la susceptibilidad a plagas y enfermedades
- Aumenta el nivel de proteínas
- Propicia el volcamiento
- Alarga el ciclo vegetativo de los cultivos
- Retrasa la maduración de frutos

Las plantas en crecimiento necesitan nitrógeno para formar nuevas células. Las plantas absorben nitrógeno siempre que se encuentran en periodo de crecimiento activo, pero no siempre lo hacen a la misma velocidad. La cantidad de nitrógeno absorbido por día y por kilogramo de material vegetal, es máxima cuando las

plantas son jóvenes y declina gradualmente con la edad (Thompson y Troeh, 1988).

El síntoma característico de la deficiencia del nitrógeno es el color pálido de las plantas, el cual proviene de la reducción de clorofila, suele ser más pronunciado en las hojas viejas y especialmente a lo largo de las nervaciones (Thompson y Troeh, 1988).

2.4.2 Fósforo

El fósforo es el segundo nutrimento en importancia, a juzgar por la frecuencia con que ocurre la deficiencia en el suelo. En cuanto a sus funciones en la planta, forma parte de un gran número de compuestos orgánicos esenciales, incluyendo aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila (Castellanos *et al.*, 2000).

Forma parte de la molécula transportadora de alta energía "ATP", por lo tanto, participa en todos los procesos metabólicos que involucran energía. Estructuralmente constituye parte de los fosfolípidos de las membranas celulares, de los ácidos nucleicos, de la mayoría de las enzimas y de las coenzimas NAD y NADP, por lo que participa en la fotosíntesis, en la glucólisis, en la respiración, en la síntesis de ácidos grasos y en la síntesis de proteínas, especialmente nucleoproteínas en los tejidos meristemáticos. El ácido fítico (hexafosfato de inositol) almacenado en las semillas es la principal fuente de fosfato inorgánico durante la germinación (Bertsch, 1995).

Entre los efectos que causa el fósforo en las plantas están: (Bertsch, 1995)

- Fomenta y acelera el desarrollo de raíces
- Aumenta el número de renuevos
- Apresura la maduración de frutos
- Participa en la formación de semillas
- Evita el acame o volcamiento

- Aumenta el nivel de carbohidratos, aceites, grasas y proteínas
- Aumenta la resistencia a enfermedades
- Participa en la fijación simbiótica del nitrógeno

El fósforo ha sido llamado “la llave de la vida”, porque se halla directamente implicado en la mayoría de los procesos vitales. Está presente en todas las células, con tendencia a concentrarse en las semillas y zonas de crecimiento de las plantas (Thompson y Troeh, 1988).

El síntoma característico de la deficiencia del fósforo da lugar al raquitismo y al retraso de la maduración y a la producción de semillas arrugadas, dificulta la conversión de azúcares en almidón y celulosa, conduce a la formación de antocianinas, que se manifiestan como manchas o bandas púrpuras en tallos y hojas (Thompson y Troeh, 1988).

2.4.3 Potasio

Junto con el fósforo y el nitrógeno, constituye el contenido principal de los fertilizantes de máxima comercialización debido a la importancia de estos tres elementos. En su totalidad se encuentra en forma iónica y móvil dentro de la planta, participa en casi todos los procesos: respiración, fotosíntesis, aparición de clorofila, pero no tiene un papel específico. Se le confiere una participación muy activa en la regulación osmótica e hídrica de la planta, en el mantenimiento de la electroneutralidad celular y en la permeabilidad de las membranas. Actúa como activador de una gran cantidad de enzimas de la síntesis proteica y del metabolismo de carbohidratos, y está involucrado muy directamente en el transporte de azúcares vía floema. Puede ser parcialmente sustituido por el Na y el Rb (Bertsch, 1995).

Entre los efectos que causa el potasio en la plantas están: (Bertsch, 1995)

- Incrementa la eficacia en la elaboración y movilización de azúcares y almidones
- Estimula el llenado de granos
- Mantiene la turgencia de la planta
- Evita los efectos severos de la sequía y de las heladas
- Aumenta la resistencia a enfermedades y plagas
- Reduce el volcamiento
- Ayuda en la fijación simbiótica del nitrógeno

Las plantas requieren cantidades de potasio relativamente importantes y con frecuencia, son capaces de utilizar una provisión de este elemento mayor de la que el suelo puede suministrar. El potasio, por orden de probabilidad, es el tercero de los nutrientes que suelen limitar el crecimiento de las plantas y en consecuencia, es un componente muy común de los fertilizantes. El potasio interviene en la absorción de otros nutrientes y en el desplazamiento de los mismos dentro de la planta. La presencia de potasio y otros iones en solución ayuda a mantener la concentración osmótica necesaria para mantener la turgencia celular, también es importante en los procesos metabólicos que conducen a la formación de hidratos de carbono y proteínas (Thompson y Troeh, 1988).

El síntoma general más característico de la deficiencia de potasio es la aparición de un moteado de manchas cloróticas, seguido por el desarrollo de zonas necróticas en la punta y los bordes de las hojas. Estos síntomas suelen aparecer primero en las hojas maduras debido a la gran movilidad dentro de la planta. En general una deficiencia de este elemento produce en la planta un aspecto achaparrado, debido al acortamiento de los entrenudos (Bertsch, 1995).

Según Giller y Silvestre (1970), la deficiencia de potasio en maní provoca una abundancia de vainas de un solo grano, no se ha podido comprobar si ayuda a mejorar la resistencia a la sequía.

Se ha reportado una interacción positiva entre nitrógeno y potasio, incluso que bajo un buen suministro de potasio la respuesta al N suele ser mayor. El potasio suele favorecer el metabolismo de nitrógeno, especialmente del nitrógeno amoniacal. La interacción entre potasio y fósforo no está muy bien documentada, sin embargo, en condiciones de deficiencia de P se reduce la absorción de K y viceversa. Sin embargo, aparentemente esto no es más que un mero efecto de la ley del mínimo. Por otro lado, se ha reportado que la aplicación de potasio reduce la deficiencia de zinc inducida por el exceso de fósforo. En cuanto al calcio y magnesio, éstos son dos nutrimentos con los que el potasio mantiene relaciones antagónicas, prácticamente en todos los cultivos. Un alto suministro de potasio reduce la absorción de magnesio y calcio, sin embargo, un alto suministro de magnesio y calcio afecta poco la absorción de potasio. Por otro lado, en condiciones de deficiencia de calcio en el suelo, se desfavorece la absorción de potasio debido a la pérdida de integridad de la membrana celular. Se ha reportado que la absorción de manganeso, zinc y cobre se ve favorecida en forma general por la aplicación de potasio (Castellanos *et al.*, 2000).

2.5 VARIEDAD DE FRIJOL ARBUSTIVO ICTA HUNAPÚ

Es una variedad de frijol negro, de ciclo intermedio, de hábito de crecimiento tipo indeterminado arbustivo, además con tolerancia a la roya, ascochyta y antracnosis. Posee buena arquitectura de planta, buena ramificación y las vainas bien distribuidas. La floración ocurre a los 50 días después de la siembra (dds), la flor es de color morado (lila), las plantas alcanzan una altura de 60 a 70 centímetros, con vainas de color morado, algo importante de esta variedad consiste en su calidad culinaria, que es muy buena. Su rendimiento promedio es de 1950 a 2500 kg/ha (Comunicación personal con el Ingeniero Edwin Argueta del ICTA).

Esta variedad proviene de un cruzamiento de una variedad de frijol negro precoz, originario de Chimaltenango, y que se conoce como Negro Pacoc, con la línea A 216 del CIAT. La cruce resultante, C-132, fue sometida durante varios años a diversos procesos de mejoramiento genético por el Programa de frijol del ICTA, dando origen finalmente a la variedad ICTA Hunapú. Se adapta a zonas comprendidas entre 1500 y 2300 msnm (Comunicación personal con el Ingeniero Edwin Argueta del ICTA).

2.6 ESTUDIOS REALIZADOS POR EL ICTA EN EL TEMA DE FERTILIZACIÓN

EN FRIJOL

El instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas –ICTA-, a través del programa de Nutrición Vegetal, determinó en 1973, los niveles adecuados de N-P-K en varios cultivos agrícolas, incluyendo frijol, como otra fase del proceso de evaluación de la fertilidad de los suelos. Esta información, unida al criterio de niveles de suficiencia de nutrimentos, derivados de un método de alta correlación, es utilizada como fundamento para orientar programas de fertilización en diferentes cultivos.

Para obtener esta información, el Programa de Nutrición Vegetal desarrolló un proyecto de investigación en campos de agricultores, mediante la instalación de ensayos localizados en distintos sitios del país, seleccionados de acuerdo a los intereses tanto del programa como de los agricultores que accedieron a prestar su colaboración.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A lo largo de los años de su existencia, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas – ICTA-, como un producto de sus investigaciones, ha generado y liberado variedades de frijol arbustivo adaptables a las condiciones del altiplano central de Guatemala. Sin embargo, las condiciones climáticas en las diferentes regiones productoras de frijol en Guatemala, han sufrido cambios drásticos en cuanto a clima y características de los suelos se refiere, esto provocado por diversos factores agroclimáticos, además, no existe investigación reciente en cuanto al manejo agronómico del cultivo de frijol, principalmente, en lo referente a niveles de macro nutrientes (N-P-K) adecuados para las variedades actuales, lo que podría estar limitando la productividad de las mismas, o en otros casos, aumentando los costos de producción.

Debido a lo anterior, se hizo necesario realizar la evaluación de diferentes niveles de macronutrientes (N-P-K) y su efecto sobre los componentes y el rendimiento del cultivo de frijol, como parte del desarrollo de la tecnología que posteriormente pueda ser transferida al agricultor.

La fertilización es uno de los factores que inciden grandemente en el vigor y desarrollo de la planta de frijol, su rendimiento y su calidad. Para su buen aprovechamiento es necesario considerar varios aspectos relacionados con el suelo, la fisiología de la planta, el clima y la disponibilidad de nutrientes en el suelo para la planta.

III. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Generar tecnología para determinar las dosis óptimas de fertilización N-P-K en la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú.

4.2 ESPECÍFICOS

- Cuantificar los componentes de rendimiento de la variedad de frijol ICTA Hunapú, cultivada con distintos tratamientos de fertilización N-P-K.
- Determinar el rendimiento de la variedad de frijol ICTA Hunapú, manejada con distintos programas de fertilización N-P-K.

IV. HIPÓTESIS

- Al menos con uno de los tratamientos de fertilización N-P-K a evaluar se obtendrá una mejor expresión de los componentes del rendimiento en la variedad de frijol ICTA Hunapú.
- Con al menos uno de los programas de fertilización N-P-K a evaluar, se obtendrá un mayor rendimiento de grano en el frijol variedad ICTA Hunapú.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

Para evaluar la respuesta del frijol variedad ICTA Hunapú cultivado en monocultivo, a diferentes programas de fertilización N-P-K, se condujeron cinco ensayos agrotécnicos, localizados los mismos en los municipios de San José Poaquil, Santa Apolonia, San Juan Comalapa, Zaragoza y Chimaltenango.

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

Se utilizó semilla de la variedad ICTA Hunapú.

Como fuentes de nutrientes se utilizaron las fórmulas químicas:

Fertilizante 15-15-15

Fertilizante 11-52-0

Fertilizante 0-0-60

Fertilizante 46-0-0

6.3 FACTOR ESTUDIADO

En el presente trabajo se estudió un solo factor: Programas de fertilización N-P-K en frijol arbustivo, variedad ICTA Hunapú.

6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Se evaluaron ocho programas de fertilización N-P-K (cuadro 1), provenientes de desarrollar el factorial 2 x 2 x 2 (dos niveles de nitrógeno, dos niveles de fósforo y dos niveles de potasio).

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización N-P-K evaluados en la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú, en cinco localidades del altiplano central de Guatemala.

Tratamiento	Cantidad de fertilizante aplicado (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	50	30	50
2	50	30	100
3	50	60	50
4	50	60	100
5	100	30	50
6	100	30	100
7	100	60	50
8	100	60	100

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental de Bloques completos al azar, con 8 tratamientos y 3 repeticiones.

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico utilizado en la presente investigación fue el siguiente:

$$Y_{ij} = u + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta

u = Media general del experimento

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento de fertilización

B_j = Efecto de la j-ésima repetición (bloque)

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

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo formada por 4 surcos de 6 metros de largo cada uno. La distancia entre surcos fue de 0.6 m. Como parcela neta se tomaron los dos surcos centrales de cada unidad experimental. La distancia entre posturas fue de 0.1 m, colocando una semilla por postura.

6.8 CROQUIS DE CAMPO

La distribución de los tratamientos en el campo se muestra en la figura 1.

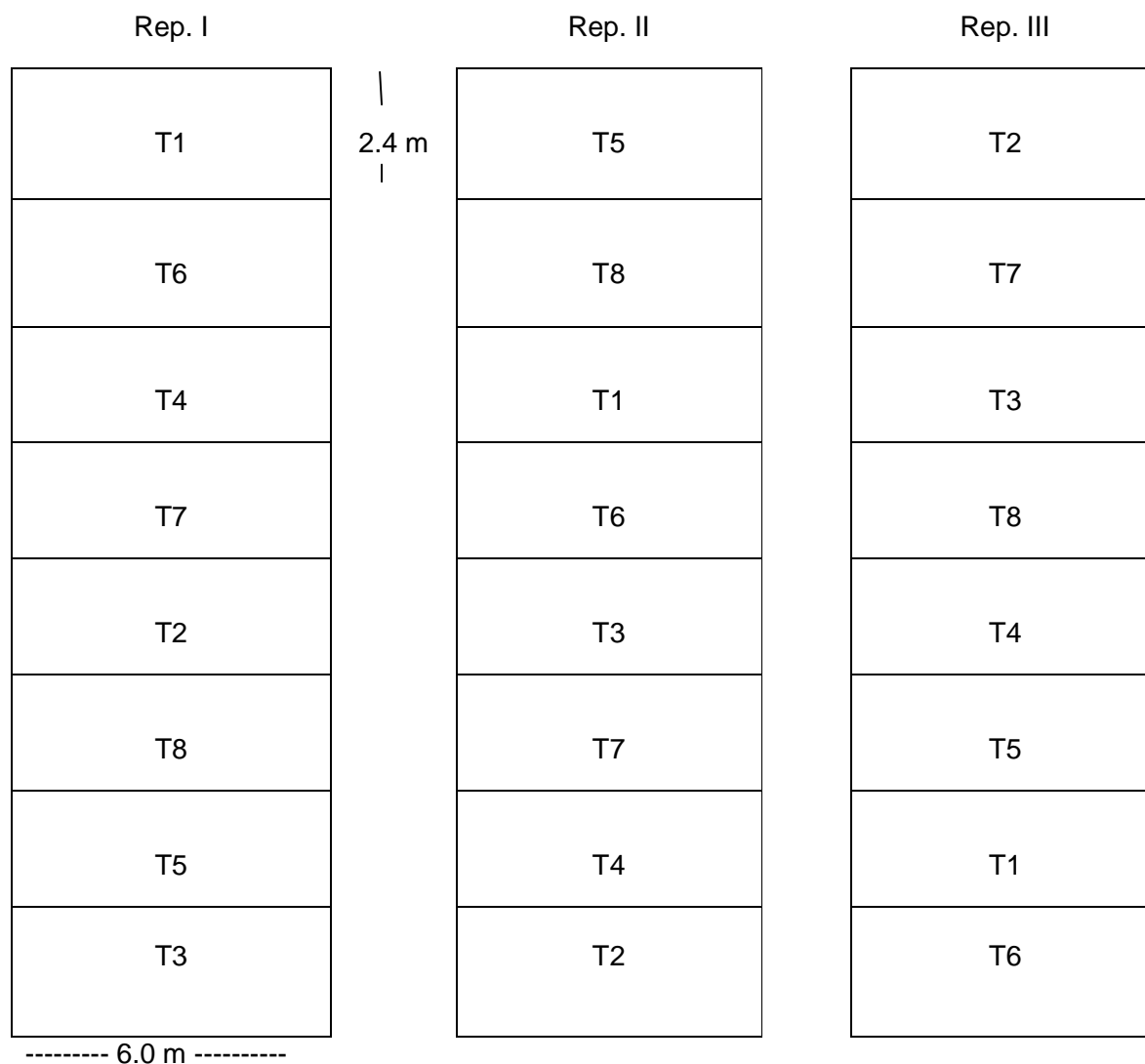


Figura 1. Aleatorización de los tratamientos en el campo.

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.9.1 Preparación del terreno

En la localidad de Chimaltenango la preparación se hizo con maquinaria, dando un paso de arado, dos pasos de rastra y finalmente se hizo el surqueo respectivo, para dejar una buena cama de siembra. En el resto de localidades se hizo en forma manual, se utilizó azadón, realizando un picado profundo del suelo y eliminando terrones grandes para facilitar la germinación y emergencia de las plantas.

6.9.2 Siembra

La siembra se realizó de forma manual, sembrando un grano por postura. El distanciamiento entre surcos fue de 0.6 m y entre posturas de 0.1 m.

6.9.3 Control de malezas

Durante el ciclo de cultivo se realizaron tres limpiezas, con una frecuencia de 20 días entre cada una. Esta actividad se hizo de forma manual, con azadón.

6.9.4 Fertilización

Se efectuaron dos fertilizaciones, la primera al momento de la siembra, con el 100% de fósforo y de potasio, y aproximadamente el 50% de N. Para completar la fertilización nitrogenada se aplicó urea al momento de iniciarse la floración.

Adicionalmente se hicieron tres aplicaciones de abono foliar (Bayfolan Forte), inmediatamente después de cada limpia.

6.9.5 Control de plagas

Entre las plagas que atacaron las raíces de las plantas de frijol se encontraron principalmente las siguientes: gusano alambre (*Agriotes ipsilum*), y gallina ciega (*Phyllophaga* spp.).

Entre las plagas que atacaron el follaje de las plantas de frijol se identificaron las siguientes: babosas (*Sarasinula plebeia*), chicharritas (*Empoasca fabae*), minadores de las hojas (*Liriomyza huidobrensis*), tortuguillas (*Diabrotica* spp), cortadores o nocheros (*Spodoptera* spp.).

Entre las plagas que atacaron al fruto se encontraban principalmente: picudo de la vaina (*Trichapion godmani*) y los barrenadores de la vaina (*Epinotia aporema*). También se observó presencia de gorgojo (*Acanthoscelides obtectus*).

Periódicamente se realizaron muestreos de plagas, cuando los niveles de las mismas alcanzaron umbrales económicos, se procedió a aplicar productos químicos que permitieran controlarlas, tales como: Deltametrina, Endosulfan, Thiodicarb y Metaldehído.

6.9.6 Control de enfermedades

Con base en la tolerancia y/o resistencia del material genético utilizado en la investigación, no se hicieron aplicaciones para prevenir o curar enfermedades.

6.9.7 Cosecha

Se realizó de forma manual, arrancando las plantas, éstas se sacudieron para desprender la tierra adherida a las raíces. Esta labor facilitó la limpieza posterior del grano.

Después de arrancadas, las plantas fueron expuestas al sol para finalizar su secado. El secado se hizo en un patio de cemento. Luego del secado se procedió al aporreo o trilla y limpieza del grano obtenido.

6.10 VARIABLES DE RESPUESTA

6.10.1 Vainas por planta (número)

Se tomaron al azar diez plantas de cada parcela neta y se procedió a retirarles y contar las vainas; posteriormente se obtuvo el promedio por planta.

6.10.2 Granos por vaina (número)

Se tomaron al azar 50 vainas de cada parcela neta y se procedió a retirarles y contar los granos; posteriormente se obtuvo el promedio por vaina.

6.10.3 Peso de 100 granos (g)

Cuando el grano se encontraba debidamente limpio y seco, se procedió a tomar al azar 100 granos y se les determinó su peso en una balanza semianalítica.

6.10.4 Rendimiento de grano (kg/ha)

Luego del aporreo, secado y limpieza del grano de cada unidad experimental, se procedió a pesar el mismo; este dato fue proyectado para obtener los kg/ha de rendimiento de cada tratamiento en cada repetición.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los datos obtenidos para cada una de las variables fueron sometidos a análisis de varianza; en aquellos casos que se determinaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se procedió a realizar una prueba de medias, utilizando para el efecto, Tukey, al 5% de probabilidad de error.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 VAINAS POR PLANTA

En el cuadro 2 se presenta un resumen de los resultados de los análisis de varianza por localidad, para la variable vainas por planta. Así mismo, se muestra cual fue el comportamiento del análisis combinado para las cinco localidades en donde se ejecutaron los experimentos.

En el cuadro 3 se muestran los resultados de la prueba de medias (Tukey 5% de probabilidad de error) practicada a la fuente de variación localidades.

La prueba de medias practicada a los ocho tratamientos evaluados se muestra en el cuadro 4. Se anota aquí el orden de los tratamientos en cada una de las cinco localidades, y los grupos de medias que conformaron los tratamientos en el análisis combinado.

Cuadro 2. Resumen de los análisis de varianza para la variable vainas por planta, en la variedad de frijol ICTA Hunapú, en la evaluación de tratamientos de fertilización N-P-K en cinco localidades de Chimaltenango.

Fuente de variación	Localidad					
	Chimaltenango	San José Poaquil	Zaragoza	Santa Apolonia	San Juan Comalapa	Combinado
Tratamiento	0.2369 NS	0.9932 NS	0.1130 NS	0.0031 **	0.0950 NS	0.0033 **
Repetición	0.0427 *	0.1401 NS	0.5129 NS	0.1926 NS	0.0052 **	0.6677 NS
Localidades						0.0001 **
L * T						0.9446 NS
Media	17.6	24.7	14.9	17.0	19.0	18.8
C.V. (%)	15.7	16.4	13.5	10.4	14.8	16.8

Cuadro 3. Prueba de medias Tukey (0.05) para la variable vainas por planta, en frijol variedad ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.

Localidad	Media
San José Poaquil	24.7 a
San Juan Comalapa	19.0 b
Chimaltenango	18.2 b
Santa Apolonia	17.0 b
Zaragoza	14.9 c

Cuadro 4. Vainas por planta en la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú, en la evaluación de ocho tratamientos de fertilización N-P-K, en cinco localidades de Chimaltenango.

Combinado	Localidad				
	Chimaltenango	San José Poaquil	Zaragoza	Santa Apolonia	San Juan Comalapa
(7) 21.0 a	(8) 19.9	(4) 25.7	(7) 17.9	(8) 20.6	(7) 23.6
(8) 20.8 a	(5) 19.7	(6) 25.6	(8) 16.3	(7) 20.4	(8) 20.9
(5) 19.3 a	(7) 18.8	(5) 25.5	(5) 15.9	(3) 17.5	(6) 19.5
(6) 18.6 a	(3) 17.8	(8) 25.1	(4) 14.8	(5) 16.6	(4) 19.3
(4) 18.5 a	(6) 17.0	(2) 24.5	(2) 14.1	(6) 16.4	(3) 19.1
(3) 17.8 a	(4) 16.5	(7) 24.3	(6) 13.7	(4) 15.3	(5) 17.3
(2) 17.4 b	(2) 15.8	(1) 23.9	(1) 13.6	(2) 14.9	(2) 16.6
(1) 17.0 b	(1) 15.7	(3) 23.3	(3) 12.9	(1) 14.2	(1) 16.2

Los resultados de los análisis de varianza individuales (cuadro 2) muestran que la variable vainas por planta únicamente fue altamente significativa en la localidad de Santa Apolonia.

Por las tendencias que se marcaron en cada una de los sitios experimentales, en el análisis combinado de las cinco localidades se observó diferencia altamente significativa entre los tratamientos evaluados y entre las localidades, lo que se atribuye a las diferencias de clima y suelos de las mismas. No se marcó diferencia significativa entre repeticiones y en la interacción localidad por tratamiento. La media de las cinco localidades fue de 18.8 vainas por planta.

Los valores de los coeficientes de variación se consideran dentro de un rango apropiado para este tipo de investigaciones (en todos los casos no mayores a 16.8%). Es oportuno mencionar que aunque no se cuenta con resultados de análisis de suelos, se observó un mejor comportamiento de la variedad en donde los terrenos son potencialmente más productivos; por otra parte, a excepción de la localidad de Chimaltenango, en los terrenos no se había sembrado frijol en los cinco años anteriores a la ejecución de la investigación.

En el caso de las localidades se formaron tres grupos estadísticos; en el primero de ellos se ubicó San José Poaquil (24.7 vainas/planta), el suelo de esta localidad presentaba una textura arcillosa. El menor número de vainas por planta se dio en Zaragoza (14.9); el suelo de esta localidad presentaba una textura franca.

Para el caso de los tratamientos de fertilización evaluados, en el análisis combinado se formaron dos grupos estadísticos. En el segundo grupo se ubicaron los tratamientos 2 (50 – 30 – 100 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea) y 1 (50 – 30 – 50 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea). Estos tratamientos siguieron la misma tendencia en las cinco localidades donde se instalaron los experimentos.

7.2 GRANOS POR VAINA

El resumen de los análisis de varianza por localidad, así como un combinado de las cinco localidades, se muestra en el cuadro 5.

La prueba de medias (Tukey 5% de probabilidad de error) para la fuente de variación localidades se presenta en el cuadro 6.

La prueba de medias practicada a los ocho tratamientos de fertilización evaluados se muestra en el cuadro 7. Se anota aquí el orden de los tratamientos en cada una de las cinco localidades y los grupos de medias que conformaron los tratamientos en el análisis combinado.

Cuadro 5. Resumen de los análisis de varianza para la variable granos por vaina, en la variedad de frijol ICTA Hunapú, en la evaluación de tratamientos de fertilización N-P-K en cinco localidades de Chimaltenango.

Fuente de variación	Localidad					
	Chimaltenango	San José Poaquil	Zaragoza	Santa Apolonia	San Juan Comalapa	Combinado
Tratamiento	0.2167 NS	0.0001 **	0.2608 NS	0.0219 *	0.1857 NS	0.0001 **
Repetición	0.3584 NS	0.0059 **	0.7790 NS	0.9420 NS	0.7997 NS	0.1503 NS
Localidades						0.0028 **
L * T						0.1894 NS
Media	5.9	6.1	5.9	5.6	5.9	5.9
C.V. (%)	7.8	3.0	10.1	3.9	7.0	6.8

Cuadro 6. Prueba de medias Tukey (0.05) para la variable granos por vaina, en frijol variedad ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.

Localidad	Media
San José Poaquil	6.1 a
Chimaltenango	5.9 a
Zaragoza	5.9 a
San Juan Comalapa	5.9 a
Santa Apolonia	5.6 b

Cuadro 7. Granos por vaina en la variedad de frijol arbustivo ICTA Hunapú, en la evaluación de ocho tratamientos de fertilización N-P-K, en cinco localidades de Chimaltenango.

Combinado	Localidad				
	Chimaltenango	San José Poaquil	Zaragoza	Santa Apolonia	San Juan Comalapa
	(8) 6.3 a	(8) 6.3	(8) 6.8	(7) 6.4	(7) 5.9
(7) 6.3 a	(7) 6.3	(7) 6.7	(8) 6.3	(4) 5.9	(7) 6.1
(4) 6.0 a	(4) 6.0	(6) 6.5	(5) 6.1	(8) 5.8	(6) 6.0
(5) 5.9 a	(1) 5.9	(5) 6.1	(4) 6.0	(3) 5.7	(5) 6.0
(6) 5.9 b	(3) 5.9	(4) 6.1	(1) 5.9	(5) 5.6	(4) 6.0
(3) 5.8 b	(2) 5.7	(3) 5.8	(3) 5.9	(6) 5.6	(3) 5.7
(1) 5.6 b	(5) 5.6	(2) 5.7	(6) 5.5	(2) 5.4	(2) 5.5
(2) 5.5 b	(6) 5.6	(1) 5.3	(2) 5.1	(1) 5.2	(1) 5.3

Los resultados de los análisis de varianza individuales para las localidades (cuadro 5), muestran que la variable granos por vaina no fue estadísticamente significativa en las localidades de Chimaltenango, Zaragoza y San Juan Comalapa. Por el contrario, fue significativa en Santa Apolonia, y altamente significativa en San José Poaquil.

En el análisis combinado de las cinco localidades se observó diferencia altamente significativa entre los tratamientos evaluados y entre las localidades, atribuido a los diferentes climas y suelos de cada una. La media de las cinco localidades fue de 5.9 granos por vaina.

Los valores de los coeficientes de variación se consideran dentro de un rango apropiado para este tipo de investigaciones (en todos los casos no mayores a 10.1%). Es oportuno mencionar que aunque no se cuenta con resultados de análisis de suelos, se observó un mejor comportamiento de esta variable en donde los terrenos son potencialmente más productivos; por otra parte, a excepción de la localidad de Chimaltenango, en los terrenos no se había sembrado frijol en los cinco años anteriores a la ejecución de la investigación.

En el caso de las localidades se formaron dos grupos estadísticos; en el segundo de ellos se ubicó únicamente la localidad de Santa Apolonia con 5.6 granos/vaina.

Para el caso de los tratamientos de fertilización evaluados, en el análisis combinado se formaron dos grupos estadísticos. En el primero de ellos se ubicaron los tratamientos 8 (100 – 60 – 100 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea), 7 (100 – 60 – 50 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea), 4 (50 – 60 – 100 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea), y 5 (100 – 30 – 50 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea); en las localidades la tendencia fue más o menos la misma.

7.3 PESO DE 100 GRANOS

Un resumen de los análisis de varianza individuales por localidad, así como un combinado de las cinco localidades se presenta en el cuadro 8.

La prueba de medias (Tukey 5% de probabilidad de error) para la fuente de variación localidades se presenta en el cuadro 9.

La prueba de medias para los ocho tratamientos de fertilización evaluados, se presenta en el cuadro 10. Se anota aquí el orden de los tratamientos en cada una de las cinco localidades y los grupos de medias que conformaron los tratamientos en el análisis combinado.

Cuadro 8. Resumen de los análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (g), en la variedad de frijol ICTA Hunapú, en la evaluación de tratamientos de fertilización N-P-K en cinco localidades de Chimaltenango.

Fuente de variación	Localidad					
	Chimaltenango	San José Poaquil	Zaragoza	Santa Apolonia	San Juan Comalapa	Combinado
Tratamiento	0.0206 *	0.1728 NS	0.4483 NS	0.2336 NS	0.7852 NS	0.0380 *
Repetición	0.0306 *	0.7645 NS	0.0234 *	0.0302 *	0.0085 **	0.0026 **
Localidades						0.0001 **
L * T						0.2488 NS
Media (g)	20.7	19.9	21.8	17.9	19.4	19.9
C.V. (%)	3.6	5.0	4.5	2.9	3.2	4.3

Cuadro 9. Prueba de medias Tukey (0.05) para la variable peso de 100 granos, en frijol variedad ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.

Localidad	Media (g)	
Zaragoza	21.8	a
Chimaltenango	20.6	b
San José Poaquil	19.9	c
San Juan Comalapa	19.4	c
Santa Apolonia	17.9	d

Cuadro 10. Peso de 100 granos en la variedad de frijol variedad ICTA Hunapú, en la evaluación de ocho tratamientos de fertilización N-P-K, en cinco localidades de Chimaltenango.

Combinado	Localidad				
	San José Poaquil		Santa	San Juan	
	Chimaltenango	Zaragoza	Apolonia	Comalapa	
(8) 21.0 a	(1) 22.2	(8) 21.1	(8) 22.9	(8) 18.5	(7) 19.7
(7) 20.9 a	(8) 20.8	(7) 20.9	(7) 22.5	(7) 18.3	(3) 19.6
(1) 20.4 a	(7) 20.8	(6) 20.0	(3) 21.9	(4) 18.2	(6) 19.5
(4) 20.3 a	(3) 20.7	(5) 19.9	(4) 21.6	(5) 18.0	(5) 19.5
(6) 20.2 a	(6) 20.5	(4) 19.4	(6) 21.5	(2) 17.8	(8) 19.4
(3) 20.2 a	(2) 20.5	(1) 19.3	(1) 21.5	(3) 17.7	(4) 19.3
(5) 20.2 a	(4) 20.4	(2) 19.2	(5) 21.4	(6) 17.6	(1) 19.0
(2) 19.9 b	(5) 19.9	(3) 19.1	(2) 21.2	(1) 17.4	(2) 19.0

Los resultados de los análisis de varianza individuales (cuadro 8) muestran que la variable peso de 100 granos únicamente presentó diferencias significativas en la localidad de Chimaltenango, lo que podría deberse a que dicha característica está más asociada al componente genético de la variedad. Así mismo, se infiere que este componente tuvo menor efecto que vainas por planta y granos por vaina, en el rendimiento total de grano de cada tratamiento.

Por las tendencias de comportamiento de cada uno de los tratamientos evaluados, en el análisis combinado de las cinco localidades se observó diferencia significativa entre los tratamientos y entre las localidades. No se marcó diferencia significativa en la interacción localidad por tratamiento. La media de las cinco localidades fue de 19.9 g, valor que puede considerarse relativamente bajo en comparación con lo que se reporta para dicha variedad (Ing. Julio Villatoro del ICTA. Comunicación personal); sin embargo, es de anotar que los terrenos en donde se ejecutaron los experimentos pueden considerarse de baja productividad.

Los valores de los coeficientes de variación se consideran dentro de un rango apropiado para este tipo de investigaciones (en todos los casos menores a 5%). A excepción de la localidad de Chimaltenango, en los terrenos no se había sembrado frijol en los cinco años anteriores a la ejecución de la investigación.

En el caso de las localidades se formaron cuatro grupos estadísticos; en el primero de ellos se ubicó Zaragoza (21.8 g); en el segundo Chimaltenango (20.6 g). El menor peso se obtuvo en la localidad de Santa Apolonia (17.9 g).

Para el caso de los tratamientos de fertilización evaluados, en el análisis combinado se formaron dos grupos estadísticos. En el segundo de ellos se ubicó únicamente el tratamiento 2 (50 – 30 – 100 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea).

7.4 RENDIMIENTO DE GRANO

Un resumen de los análisis de varianza individuales por localidad, así como el combinado de las cinco localidades, para la variable rendimiento de grano de frijol, se presenta en el cuadro 11.

La prueba de medias (Tukey 5% de probabilidad de error) para la fuente de variación localidades se presenta en el cuadro 12.

La prueba de medias para los ocho tratamientos de fertilización evaluados, se presenta en el cuadro 13. Se anota aquí el orden de los tratamientos en cada una de las cinco localidades y los grupos de medias que conformaron los tratamientos en el análisis combinado.

Cuadro 11. Resumen de los análisis de varianza para la variable rendimiento de grano de frijol, en la variedad ICTA Hunapú, en la evaluación de tratamientos de fertilización N-P-K en cinco localidades de Chimaltenango.

Fuente de variación	Localidad					
	San José		Santa		San Juan	
	Chimaltenango	Poaquil	Zaragoza	Apolonia	Comalapa	Combinado
Tratamiento	0.0001 **	0.0003 **	0.0026 **	0.0169 *	0.0001 **	0.0001 **
Repetición	0.0005 **	0.0155 *	0.1749 NS	0.9344 NS	0.0017 **	0.1913 NS
Localidades						0.0001 **
L * T						0.2419 NS
Media (kg/ha)	2818	3595	2532	2335	2742	2825
C.V. (%)	8.0	7.0	10.9	13.4	13.8	12.8

Cuadro 12. Prueba de medias Tukey (0.05) para la variable rendimiento de grano de frijol, variedad ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango.

Localidad	Media (kg/ha)
San José Poaquil	3595 a
Chimaltenango	2922 b
San Juan Comalapa	2742 b
Zaragoza	2532 c
Santa Apolonia	2335 d

Cuadro 13. Rendimiento promedio de grano de frijol, variedad ICTA Hunapú, en la evaluación de ocho tratamientos de fertilización N-P-K, en cinco localidades de Chimaltenango.

Combinado	Localidad				
	Chimaltenango	San José Poaquil	Zaragoza	Santa Apolonia	San Juan Comalapa
(7) 3442 a	(7) 3428	(7) 4316	(7) 3034	(7) 2711	(8) 3910
(8) 3365 a	(8) 3108	(8) 4007	(8) 2974	(8) 2679	(7) 3569
(4) 2858 b	(6) 2974	(4) 3716	(3) 2753	(5) 2541	(4) 3025
(3) 2829 b	(3) 2829	(5) 3606	(4) 2615	(6) 2536	(3) 2554
(6) 2774 b	(4) 2797	(3) 3518	(5) 2439	(3) 2398	(6) 2490
(5) 2754 b	(5) 2642	(6) 3491	(6) 2361	(1) 2047	(5) 2398
(2) 2307 c	(1) 2458	(2) 3117	(2) 2084	(4) 2001	(2) 2185
(1) 2272 c	(2) 2310	(1) 2987	(1) 1992	(2) 1771	(1) 1807

Los resultados de los análisis de varianza individuales (cuadro 11), indican que la variable rendimiento de grano presentó diferencias significativas en todas las localidades donde se condujeron los experimentos.

Por su parte, el análisis combinado de las cinco localidades indica que la diferencia entre tratamientos fue altamente significativa, al igual que entre las localidades donde se condujeron los experimentos; esto se atribuye a las diferentes condiciones edafoclimáticas que prevalecieron en cada sitio experimental. No se marcaron diferencias entre repeticiones y en la interacción localidades por tratamiento. La media general para las cinco localidades fue de 2825 kg/ha.

La prueba de medias (Tukey 5% de probabilidad de error) para la fuente de variación localidades (cuadro 12), indica que se formaron cuatro grupos estadísticos; conformando el primero de ellos San José Poaquil (3595 kg/ha); en un segundo grupo se ubicaron las localidades de Chimaltenango (2922 kg/ha) y San Juan Comalapa (2742 kg/ha). La localidad en donde se obtuvo un menor rendimiento fue Santa Apolonia (2335 kg/ha).

La prueba de medias para el análisis combinado (cuadro 13), indica que los tratamientos formaron tres grupos estadísticos. En el primero de ellos se ubicaron los tratamientos 7 (100 – 60 – 50 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea) y 8 (100 – 60 – 100 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea). Un segundo grupo estuvo conformado por los tratamientos 4 (50 – 60 – 100 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea), 3 (50 – 60 – 100 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea), 6 (100 – 30 – 100 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea) y 5 (100 – 30 – 50 kg de N – P₂O₅ – K₂O por hectárea).

VII. CONCLUSIONES

Los tratamientos de fertilización N-P-K evaluados, afectaron significativamente el componente vainas/planta en la localidad de Santa Apolonia. Considerando las cinco localidades en su conjunto, se observó un efecto altamente significativo. De manera general, este componente fue mayor en San José Poaquil (24.7 vainas/planta), y menor en Zaragoza (14.9 vainas/planta).

Los tratamientos afectaron significativamente el componente granos/vaina en San José Poaquil y Santa Apolonia. Se observó efecto significativo en el análisis combinado de las cinco localidades. Este componente únicamente fue menor en Santa Apolonia (5.6).

El peso de 100 granos únicamente fue afectado por los tratamientos en la localidad de Chimaltenango. También se observó efecto significativo en el análisis combinado de las cinco localidades. En general, este componente fue mayor en Zaragoza (21.8 g), y menor en Santa Apolonia (17.9 g). Con respecto a la fertilización, únicamente con el tratamiento 2 el peso fue menor (19.9 g).

El rendimiento de grano del frijol variedad ICTA Hunapú fue afectado significativamente por los tratamientos de fertilización N-P-K evaluados. Fue mayor en San José Poaquil (3595 kg/ha); en un segundo grupo se ubicaron Chimaltenango (2922 kg/ha) y San Juan Comalapa (2742 kg/ha). Con respecto a la fertilización, se obtuvo un mayor rendimiento con los tratamientos 7 (3442 kg/ha) y 8 (3365 kg/ha). El menor rendimiento se obtuvo al aplicar los tratamientos 2 (2307 kg/ha) y 1 (2272 kg/ha).

VIII. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda evaluar en un mayor número de localidades, en ensayos de finca agroeconómicos, los tratamientos N-P₂O₅-K₂O a) 50 – 60 – 50 kg/ha; b) 100 – 30 – 50 kg/ha; y, c) 100 – 60 – 50 kg/ha.

Con el objetivo de disminuir las aplicaciones de nitrógeno, se recomienda que en futuros trabajos se incluya como parte del manejo experimental, la inoculación con *Rhizobium*.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2003). Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España. 522 p.

Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. Costa Rica, ACCS 157p.

Castellanos, J.; Uvalle, J. y Aguilar, A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y agua. 2ª. Ed. INCAPA, México. 226 p.

Diaz, R. & Hunter, A. (1978). Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Fagaria, N. y Baligar, V. (1997). Growth and mineral nutrition of field crops. 2ª ed. US, Marcel Dekker. 624 p.

FNUAP (Fondo de Población de las Naciones Unidas, US). (2004). Informe del Fondo de las Naciones Unidas. New York. US. 11 p.

Giller, P.V., y Silvestre, P. 1970. El Cacahuete o maní. Barcelona. Blume. 123p.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas –ICTA-. (1973). Informe Anual. Programa de Nutrición Vegetal. Guatemala.

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.

Smil, V. (1997). Global population and the nitrogen cycle. *Scientific American* 277:58-63.

Thevenet, G. (1995). Du principe de vegetation á la fertilisation raisonnée. *Phytoma-La Defense des Vegetaux* No. 475:21-23.

Thompson y Troeh (Eds) 1988. *Los Suelos y su Fertilidad*. 4a ed. España, Barcelona, Reverte, S.A.

XI. ANEXO

Datos de campo del experimento “Efecto de ocho programas de fertilización N-P-K en las características agronómicas y rendimiento de la variedad de frijol ICTA Hunapú, en cinco localidades de Chimaltenango”.

Localidades: 1) Chimaltenango; 2) San José Poaquil; 3) Zaragoza; 4) Santa Apolonia; 5) San Juan Comalapa

ICTA HUNAPÚ						
LOC	Trat	Rep.	Vainas/planta	Granos/vaina	Peso 100 granos	kg/ha
1	1	1	14.7	6.3	21.73	2508
1	2	1	14.1	5.6	20.75	2103
1	3	1	12.9	5.8	21.11	2545
1	4	1	15.2	5.7	20.49	3182
1	5	1	23.7	4.7	20.00	2748
1	6	1	15.4	5.8	20.79	2638
1	7	1	20.9	5.9	21.11	3551
1	8	1	21.4	5.9	20.85	3154
1	1	2	20.7	6.0	20.81	2693
1	2	2	17.3	5.8	19.78	2287
1	3	2	18.7	5.8	19.96	3302
1	4	2	21.0	6.6	19.69	3136
1	5	2	19.9	6.0	19.81	3025
1	6	2	19.6	5.2	19.68	3209
1	7	2	21.7	6.0	20.44	3689
1	8	2	21.6	7.4	19.77	3283

1	1	3	15.6	6.2	24.78	2379
1	2	3	18.9	5.8	20.77	2748
1	3	3	16.8	6.0	20.30	2914
1	4	3	16.3	5.8	20.83	2490
1	5	3	19.6	6.1	19.68	2582
1	6	3	17.8	5.8	19.94	3136
1	7	3	14.4	6.5	20.16	3504
1	8	3	19.8	5.8	20.81	3320
2	1	1	22.8	5.3	19.17	2877
2	2	1	19.2	5.7	19.46	2933
2	3	1	21.4	5.5	17.10	3458
2	4	1	27.6	5.8	18.86	3735
2	5	1	25.0	5.9	19.60	3182
2	6	1	15.8	6.1	20.45	3071
2	7	1	24.4	6.4	22.11	4205
2	8	1	22.0	6.7	22.41	3790
2	1	2	28.0	5.3	19.99	3043
2	2	2	28.0	5.6	18.48	3375
2	3	2	23.6	5.9	20.32	3527
2	4	2	27.4	6.0	19.20	3541
2	5	2	26.2	6.0	19.71	3348
2	6	2	32.8	6.8	19.59	3389
2	7	2	20.6	6.9	20.01	4371
2	8	2	24.2	7.0	20.20	3804
2	1	3	20.8	5.2	18.82	3040

2	2	3	26.2	5.8	19.79	3043
2	3	3	25.0	6.0	19.82	3569
2	4	3	22.0	6.4	20.19	3873
2	5	3	25.4	6.4	20.50	4288
2	6	3	28.2	6.6	20.06	4012
2	7	3	28.0	6.9	20.63	4371
2	8	3	29.0	6.8	20.64	4427
3	1	1	14.7	5.2	20.71	2020
3	2	1	15.0	5.0	21.33	2186
3	3	1	10.0	6.2	20.92	2753
3	4	1	12.2	6.1	19.61	2559
3	5	1	15.8	5.3	20.77	2960
3	6	1	15.0	5.7	22.23	2476
3	7	1	16.8	6.8	22.03	3320
3	8	1	14.8	6.1	22.44	3182
3	1	2	14.0	5.8	21.18	1937
3	2	2	13.2	5.2	21.29	1798
3	3	2	16.0	5.8	22.23	2739
3	4	2	13.5	6.2	20.87	2684
3	5	2	17.8	5.6	20.23	2338
3	6	2	12.8	5.3	20.39	1798
3	7	2	19.2	6.6	22.65	3016
3	8	2	17.3	6.8	23.00	2988
3	1	3	12.2	6.6	22.64	2020
3	2	3	14.0	5.2	20.93	2269

3	3	3	12.7	5.6	22.64	2767
3	4	3	18.7	5.8	24.28	2601
3	5	3	14.2	7.5	23.18	2020
3	6	3	13.3	5.6	22.00	2808
3	7	3	17.7	5.8	22.70	2767
3	8	3	16.8	6.0	23.14	2753
4	1	1	15.7	5.0	17.95	2103
4	2	1	15.9	5.1	17.89	1356
4	3	1	18.3	5.8	18.36	2462
4	4	1	16.2	5.9	18.92	1577
4	5	1	13.5	5.7	18.02	2850
4	6	1	19.2	5.8	18.01	2822
4	7	1	21.3	5.8	18.84	2767
4	8	1	19.7	5.9	18.83	2822
4	1	2	13.5	5.5	17.70	2407
4	2	2	14.8	5.7	17.33	1964
4	3	2	16.7	5.6	17.40	2407
4	4	2	14.2	6.0	18.63	2379
4	5	2	16.7	5.6	18.25	2490
4	6	2	12.8	5.2	17.05	2324
4	7	2	19.8	5.9	17.66	2462
4	8	2	19.5	5.7	18.45	2435
4	1	3	13.3	5.1	16.48	1632
4	2	3	14.0	5.5	18.30	1992
4	3	3	17.5	5.7	17.37	2324

4	4	3	15.5	5.7	16.99	2047
4	5	3	19.5	5.6	17.61	2282
4	6	3	17.2	5.8	17.63	2462
4	7	3	20.2	6.0	18.31	2905
4	8	3	22.7	5.9	18.10	2780
5	1	1	18.0	5.2	19.15	1715
5	2	1	18.0	5.4	18.38	2794
5	3	1	25.3	5.8	20.32	3292
5	4	1	19.5	6.0	18.64	3375
5	5	1	18.3	6.6	19.76	2739
5	6	1	19.7	6.1	19.33	2850
5	7	1	26.7	6.2	19.72	4150
5	8	1	23.3	6.0	19.70	4482
5	1	2	12.0	5.3	18.38	1950
5	2	2	15.8	5.6	18.29	1964
5	3	2	18.3	5.7	19.16	1992
5	4	2	16.0	5.9	19.68	2490
5	5	2	13.5	5.7	18.22	1798
5	6	2	17.7	5.7	19.31	1549
5	7	2	17.3	6.1	18.98	2988
5	8	2	16.3	7.2	18.37	3735
5	1	3	18.5	5.5	19.46	1757
5	2	3	16.0	5.6	20.31	1798
5	3	3	13.7	5.7	19.17	2379
5	4	3	22.3	6.0	19.51	3209

5	5	3	20.0	5.6	20.53	2656
5	6	3	21.2	6.3	19.92	3071
5	7	3	26.7	6.1	20.47	3569
5	8	3	23.0	5.5	20.17	3514