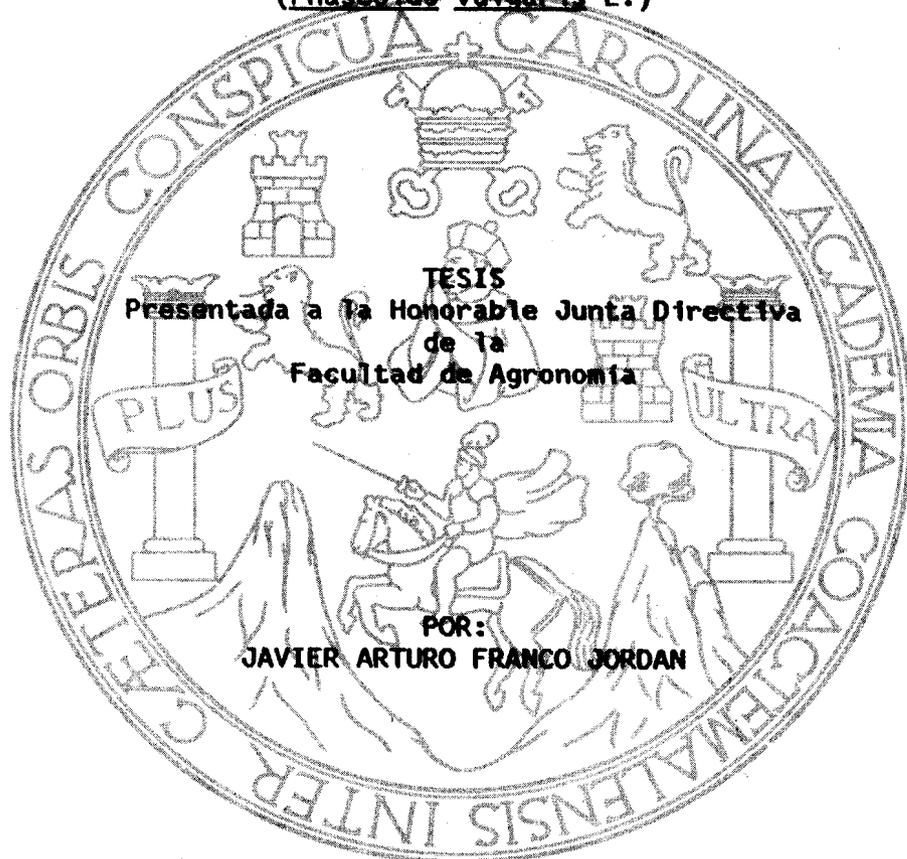


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

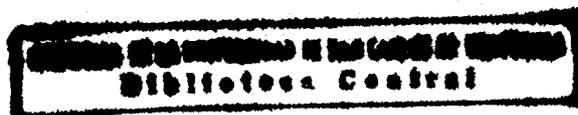
FACULTAD DE AGRONOMIA

EFFECTO DE FERTILIZACION CON DIFERENTES  
NIVELES DE P, K, Ca, Mg, y Na SOBRE EL  
TIEMPO DE COCCION Y EL CONTENIDO DE  
SOLIDOS EN EL CALDO DE FRIJOL COMUN  
(Phaseolus vulgaris L.)



En el acto de investidura como:  
INGENIERO AGRONOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA  
en el Grado Académico de Licenciado

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1990



DL  
01  
T (1937)

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR  
DR. ALFONSO FUENTES SORIA**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**DECANO: ING. AGR. ANIBAL MARTINEZ MUÑOZ**  
**VOCAL PRIMERO: ING. AGR. MYNOR ESTRADA ROSALES**  
**VOCAL SEGUNDO: ING. AGR. EFRAIN MEDINA GUERRA**  
**VOCAL TERCERO: ING. AGR. WOTZBELI MENDEZ ESTRADA**  
**VOCAL CUARTO: P.A. ALFREDO ITZEP**  
**VOCAL QUINTO: P.A. MARCO TULIO SANTOS**  
**SECRETARIO: ING. AGR. ROLANDO LARA ALECIO**

Guatemala, 22 de octubre de 1990

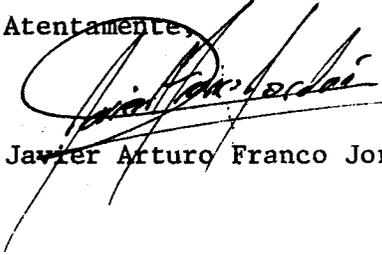
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo establecido en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

"EFECTO DE FERTILIZACION CON DIFERENTES NIVELES DE P, K, Ca, Mg. y Na SOBRE EL TIEMPO DE COCCION Y EL CONTENIDO DE SOLIDOS EN EL CALDO DE FRIJOL COMUN ( Phaseolus vulgaris L.)"

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

Atentamente,



Javier Arturo Franco Jordán

## INDICE

	<u>Página</u>
Lista de Cuadros .....	ii
RESUMEN .....	iii
I. INTRODUCCION .....	1
II. HIPOTESIS .....	3
III. OBJETIVOS .....	3
IV. REVISION DE LITERATURA .....	4
IV.1 Absorción de agua .....	4
IV.2 Propiedades de cocción .....	6
IV.3 Substancias pécticas .....	7
IV.4 Acido fítico .....	8
IV.5 Minerales .....	9
IV.5.1 En la semilla .....	9
IV.5.2 En el suelo .....	13
IV.5.2.1 Fósforo .....	13
IV.5.2.2 Intercambio catiónico .....	16
IV.5.2.3 Potasio .....	18
IV.5.2.4 Calcio y Magnesio .....	21
V. MATERIALES Y METODOS .....	24
V.1 Fase de campo .....	24
V.2 Fase de laboratorio .....	29
VI. RESULTADOS Y DISCUSION .....	35
VII. CONCLUSIONES .....	44
VIII. RECOMENDACIONES .....	45
IX. BIBLIOGRAFIA .....	46
X. ANEXOS .....	48

## LISTA DE CUADROS

<u>Nos.</u>		<u>Página</u>
1.	Tratamientos seleccionados según la matriz experimental Plan Puebla I para los factores P, K, Ca, Mg y Na en sus 4 niveles a evaluar. El N y S se aplicaron en un mismo nivel con fines nutricionales de la Planta y no se someterán a evaluación .....	26
2.	Medias de rendimiento y humedades .....	36
3.	Prueba de Tukey en frijoles recién cosechados .....	39
4.	Medias de porcentaje de sólidos en el caldo, K, Ca, Mg, Na y tiempo de cocción en frijol recién cosechado .....	40
5.	Medias de porcentaje de sólidos en el caldo, K, Ca, Mg, Na y tiempo de cocción en frijol almacenado a seis semanas ..	42
6.	Medias de porcentaje de sólidos en el caldo, K, Ca, Mg, Na y tiempo de cocción en frijol almacenado a 12 semanas ....	43
7.	ANDEVA del frijol recién cosechado .....	49
8.	ANDEVA del tiempo de cocción en frijol almacenado a seis semanas .....	50
9.	ANDEVA del tiempo de cocción en el frijol almacenado a doce semanas .....	51

## LISTADO DE FIGURAS

<u>Nos.</u>		<u>Página</u>
1	Manejo de la fertilización .....	27
2	Croquis de campo del ensayo .....	28
3	Cocinador Mattson .....	32

EFFECTO DE FERTILIZACION CON DIFERENTES NIVELES DE  
P, K, Ca, Mg y Na SOBRE EL TIEMPO DE COCCION Y EL  
CONTENIDO DE SOLIDOS EN EL CALDO DE FRIJOL COMUN  
(Phaseolus vulgaris L.)

EFFECT OF FERTILISATION WITH DIFFERENT LEVELS OF  
P, K, Ca, Mg and Na ON COOKING TIME AND  
SOLID CONTENTS IN BROTH OF COMMON BEANS  
(Phaseolus vulgaris L.)

RESUMEN

El presente estudio, fue auspiciado por el INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA (INCAP), y consistió en aplicar al suelo P, K, Ca, Mg y Na en distintos niveles en el cultivo de frijol de la variedad "ICTA TAMAZULAPA", donde los granos fueron analizados posteriormente con el fin de comprobar posibles efectos de los elementos aplicados sobre la calidad de cocción tanto en los frijoles recién cosechados como después de ser almacenados.

Los elementos mencionados anteriormente se aplicaron cuatro niveles en los siguientes rangos: fósforo de 0 a 60 Kg/ha, potasio de 0 a 150 Kg/ha, calcio de 0 a 150 Kg/ha, magnesio de 0 a 108 Kg/ha y sodio de 0 a 75 Kg/ha.

Los tratamientos seleccionados provienen de un factorial incompleto  $2^n = 2n$  (Matriz experimental Plan Puebla I).

El experimento se llevó a cabo en terrenos de la finca del INCAP, localizada en el Municipio de San Raimundo, Departamento de Guatemala, y los análisis de laboratorio, en las instalaciones del INCAP en la Zona 11 de la Ciudad de Guatemala.

Los resultados más relevantes del estudio se suscitaron en los

frijoles recién cosechados entre el tratamiento con menor tiempo de cocción y con el de mayor, éstos son los tratamientos 20 (17.33 minutos), (40, 150, 100, 72 y 50 kgs/ha de P, K, Ca, Mg y Na, respectivamente) y el tratamiento 7 (25.67 minutos), (20, 100, 100, 72 y 25 kgs/ha, de los mismos elementos. Los elementos responsables de este fenómeno, fueron el P, K y Ca. La baja aplicación de P al suelo influyó en la difícil cocción de los tratamientos del 1 al 8, aunque el 7 es el único con peso estadístico. En el tratamiento 20, la alta aplicación de K al suelo provocó una baja de Ca en el grano y por consiguiente la fácil cocción de éste.

## I. INTRODUCCION

El tiempo de cocción de los granos de frijol (Phaseolus vulgaris L.) es una de las características de aceptabilidad más importante, tanto para consumidores caseros como industriales, debido al deterioro que sufre el sabor del grano y a un mayor gasto en el uso de combustibles para su cocción. Además, desde el punto de vista industrial, los procesos unitarios que se utilizan para el procesamiento de los alimentos, necesitan uniformidad en las características de la materia prima a usar. Por lo tanto, las diferencias en el tiempo de cocción contribuyen a cierta variabilidad en la calidad del producto procesado.

El tiempo de cocción del frijol debe verse bajo dos aspectos distintos; uno se refiere al cocinamiento del frijol recién cosechado, el cual está condicionado por aspectos de orden genético-agronómico, y el otro que se relaciona con el desarrollo de un proceso de endurecimiento del grano durante el almacenamiento en condiciones inadecuadas, tales como: humedad del grano, temperatura, tiempo y humedad relativa del ambiente.

En el proceso de cocción del frijol intervienen los elementos P, K, Ca, Mg, y Na. La idea fundamental en la elaboración de este estudio fue la de manejar el ambiente externo de la planta con la aplicación al suelo en varios niveles de estos elementos por medio de la fertilización, con el propósito de lograr su translocación al grano e influenciar así sus características de cocción.

Esto induce a creer que se puede manejar el ambiente externo al experimentar con fertilizantes en distintos niveles de estos elementos para comprobar más tarde el efecto de ellos sobre el tiempo de cocción, poniendo siempre cuidado al rendimiento de campo, ya que no tiene objeto que se

encuentren niveles adecuados que reduzcan el tiempo de cocción pero que provoquen un bajo rendimiento de producción.

Existe entonces, la meta de encontrar por medio de la aplicación al suelo de los elementos P, K, Ca, Mg y Na, un efecto en el proceso de cocción del frijol al translocarse estos al grano.

## II. HIPOTESIS

Los niveles de P, K, Ca, Mg y Na en el suelo, no afectan el tiempo de cocción del grano y el porcentaje de sólidos en el caldo de cocción del frijol común.

## III. OBJETIVOS

Determinar el efecto que la fertilización a diferentes niveles de P, K, Ca, Mg y Na ejerce sobre el tiempo de cocción del grano de frijol y el porcentaje de sólidos en el caldo.

## IV. REVISION DE LITERATURA

### 4.1 Absorción de Agua

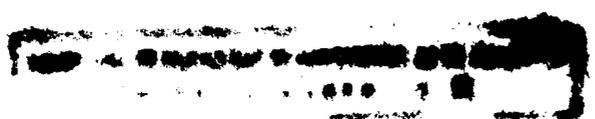
Estudios autoradiográficos (19) revelaron que la penetración de agua en frijoles recién cosechados y frijoles almacenados por ciertos períodos de tiempo, no variaban sustancialmente. También observó que entre dos y cuatro horas después de puestos en remojo, el agua entra en la semilla por el hilum y es transportada hacia la periferia del cotiledón por vía de las células parenquimoesponjosas de la testa y hacia el espacio entre los cotiledones. La penetración del agua se incrementa uniformemente de la periferia hacia el centro de la semilla conforme el tiempo de remojo progresa y no se observó ningún gradiente de concentración a través del cotiledón.

La cáscara es la primera barrera para la penetración del agua, por lo que es de esperar que la razón inicial de absorción sea afectada.

Estudios realizados por Sefa-Dedeh y Stanley (17) sobre "Cowpeas" (Caupis...Vigna sinensis), informan que el espesor de la cáscara, hilum y micrófilo, determinan la razón de absorción de agua en la semilla.

De acuerdo a los datos obtenidos, determinaron que una cáscara fina, un hilum y micrófilo grandes, favorecen la rápida absorción de agua.

Moscoso (14), en su tesis de doctorado, determinó que en el frijol colorado (Phaseolus vulgaris), de la variedad Redcloud, almacenado con tres tratamientos: semillas conteniendo 12.5%, 14.9%



y 17.9% de humedad y a temperaturas de 2 °C, 32 °C y 32 °C, respectivamente, y analizándolos todos en periodos de 3, 6 y 9 meses, con pruebas de absorción de agua, determinó que todas las muestras reaccionaron similarmente por una absorción rápida de agua durante las primeras seis horas de remojo, luego su capacidad de absorción disminuyó debido a saturación. También determinó Moscoso que en la primera hora de absorción, el contenido de humedad en las semillas tratadas a "12.5% C.H., 2 °C" y "14.9% C.H., 32 °C", lo cual viene a confirmar los estudios hechos por Crean y Haisman (1), quienes encontraron que la impermeabilidad de semillas secas de frijol era inducida por el almacenaje de éstas a contenidos bajos de humedad, y por Sefa-Dedeh y Stanley (17) que determinaron que la barrera inicial para la absorción de agua depende de la cáscara.

Moscoso (14) encontró, además, que la cantidad máxima de agua absorbida por los frijoles durante el remojo, es afectada por el contenido inicial de humedad y la temperatura de almacenamiento. Las muestras almacenadas con un contenido de humedad 12.5% y a una temperatura de 2 °C, fueron virtualmente inafectadas en su absorción de agua en los 9 meses y con 24 horas de absorción, mientras que aquéllas almacenadas a 32 °C, tuvieron un descenso de un 10%. Esto concuerda con Gloyer (5), quien nos dice que la propiedad de absorción de agua de las semillas de frijol seco no sólo es afectada por factores de variedad, clima y manejo cultural, sino también de almacenamiento. Si los frijoles secos se almacenan en un cuarto caliente con una humedad relativa baja, se induce al problema de cáscara dura o de impermeabilidad de la cáscara al agua.

#### 4.2 Propiedades de cocción

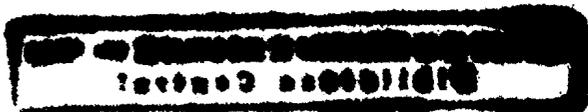
Se ha escrito mucho también, sobre la pérdida de propiedades de cocción del frijo después de cierto período de almacenamiento, pero lo que es indiscutible es que una temperatura alta y humedad relativa alta durante este proceso, se traducen en un incremento del tiempo de cocción que requieren los granos para ser consumidos. Esto significa mayor gasto de energía y por consiguiente, económico.

También se ha estudiado que durante el almacenamiento ocurren cambios enzimáticos o químicos en los granos, lo cual provoca la pérdida en la propiedad de cocción.

Moscoso (14), trabajando con los tratamientos anteriormente explicados (a: 2°C y 12.5% C. H.; b: 32°C y 14.9% C. H. y c: 32°C y 17.9% C. H.), encontró que la firmeza de los frijoles sometidos a 15, 30 y 45 minutos de cocción y en períodos de 3, 5 y 9 meses de almacenamiento, disminuía, o sea, se ablandaba más en las semillas sometidas a 2°C y 12.5% de contenido de humedad, siguiendo en orden b y c.

Estos resultados vienen a confirmar lo dicho anteriormente: que si almacenamos los granos de frijol a temperaturas bajas y con un contenido de humedad bajo, no tendremos mayor problema con el tiempo requerido para ablandarlos, lo cual sí ocurriría si fueron almacenados a altas temperaturas y con alto contenido de humedad.

Debe tenerse claro que la pérdida de la propiedad de cocción de los frijoles almacenados, no depende de las propiedades de absorción de agua, como fue demostrado por Jackson y Varriano-Marston (9).



#### 4.3 Substancias Péclicas

Hace varios años, Kon (10) propuso un modelo para explicar lo que sucede en el proceso de ablandamiento del frijol durante su cocción, el cual nos explica que ocurre un intercambio del  $\text{Ca}^{++}$  presente en el pectato insoluble de las semillas de leguminosas, con el  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  presentes en el fitato soluble.

Generalmente se considera (16) que la lámina media del tejido vegetal, está compuesta de sustancias péclicas asociadas a los cationes divalentes Mg y el ya mencionado Ca.

Estudios de la estructura celular (15) en cotiledones de las habas, realizados con el microscopio electrónico, revelan una disolución gradual de la lámina media durante la cocción. Cuando el tejido está completamente cocido, la lámina media aparece completamente disuelta, observándose una separación de las células. De este proceso se sabe (2) que las protopectinas son parcialmente hidrolizadas a pectinas hidrosolubles en proporción directa con la severidad del proceso de cocción.

Las pectinas se consideran como las sustancias cemento que mantienen las células vegetales juntas; por este motivo, una medida de las sustancias péclicas insolubles en agua, proporcionará información respecto a la fortaleza de ligación que mantiene las partes celulares juntas (13).

Evidencias microestructurales revelaron que las condiciones de almacenaje afectan el rompimiento de la lámina media, tal como fue demostrado por Sefa-Dedeh, Stanley y Voisey (18), quienes encontraron que en semillas de Cowpea (Caupi...Vigna unguiculata), almacenada a

alta temperatura y alta humedad relativa durante 12 meses y luego sometidas a cocción (100°C), no se rompió la lámina media. Ellos también sugieren que el proceso de ablandamiento de los frijoles secos dependen de la razón de disolución de la lámina media.

La razón de rompimiento de la protopectina durante el proceso de cocimiento, puede estimarse siguiendo los cambios que se suscitan en el contenido de sustancias pécticas insolubles en función del tiempo de cocción de los tejidos (13).

Si observamos una gráfica del logaritmo del contenido de las sustancias pécticas insolubles en la cáscara y cotiledones versus el tiempo de cocción, nos dirá que la disolución de las sustancias pécticas durante la cocción, siguen reacciones cinéticas de primer orden (14).

Jackson, Varriano-Marston y Morris, citados por Moscoso (13), informaron que la cáscara de frijoles frescos contribuía en mayor medida a las propiedades de cocción de los frijoles secos, mientras que los cotiledones jugaban un papel más predominante en la propiedad de cocción de los frijoles envejecidos. Estas observaciones fueron sustentadas por Moscoso (14) más tarde.

#### 4.4 Acido Fítico

Moscoso (14) encontró que los granos de frijol colorado almacenados a 2°C, no mostraron cambios significativos en el contenido de fósforo de ácido fítico durante 9 meses de almacenamiento; en cambio, los frijoles almacenados a 32°C, mostraron un descenso gradual en su contenido, siempre durante el mismo tiempo de almacenamiento

pero con contenidos de humedad más altos que los almacenados a 2°C.

El mismo autor confirmó los resultados obtenidos por otros autores al encontrar que contenidos altos de fósforo de ácido fítico favorecen el rápido ablandamiento y disolución de las sustancias pécticas, haciendo que los granos lleven menos tiempo en cocción.

Mattson (11) encontró que el deterioro que ocurre en el tiempo de cocción de los guisantes debido al almacenamiento, se debe al rompimiento hidrolítico del fitato por la enzima fitasa, lo que provoca la formación de fosfato inorgánico, el cual no actúa como un precipitante de calcio y magnesio al pH de los guisantes.

Haisman (7) informó que guisantes almacenados a 37°C (Temperatura alta), humedad relativa de 75% y durante doce meses, al ser puestos en remojo por 18 horas a 20°C, perdieron una cantidad considerable de ácido fítico y su cocción terminó siendo difícil. Por otro lado, los granos que no experimentaron pérdidas considerables de ácido fítico durante el remojo, fueron de más fácil cocción.

Está claro, pues que el ácido fítico juega un papel determinante en el fácil ablandamiento o no de los granos de frijol, con relaciones directamente proporcionales de: a mayor pérdida de ácido fítico, mayor será el tiempo requerido para su cocción; y, a menor temperatura de almacenamiento, menor pérdida de ácido fítico, lo que nos lleva a un tiempo de cocción más aceptable.

#### 4.5 Minerales

##### 4.5.1 En la semilla:

Crean y Haisman (1), en 1963, demostraron que los granos de

frijol seco son susceptibles a los iones de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  presentes en el agua usada para remojarlos, o la de cocción, lo que viene a dañar su propiedad de cocción al igual que lo hacen el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  ya presentes en el grano (15).

Por otra parte, Mattson (11) informa que los cationes monovalentes, especialmente el  $\text{K}^+$  y el  $\text{Na}^+$  tienden a disminuir el tiempo de cocción.

A medida que aumenta el envejecimiento de los frijoles almacenados, mayor será la pérdida de minerales al ser puestos en remojo (13).

Se ha observado que guisantes almacenados durante un año a una temperatura alta ( $37^{\circ}\text{C}$ ), con una humedad relativa de 75%, tuvieron mayor tiempo de cocción junto con mayor pérdida de  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^+$ , comparados con los frijoles de fácil cocción, los cuales perdieron menores cantidades de estos cationes (7).

Para un mayor entendimiento del rol que juegan los minerales en el proceso de endurecimiento y aumento en el tiempo de cocción del frijol, se hará énfasis en el estudio hecho por Moscoso (14), del cual ya hemos hecho referencia en el transcurso de esta revisión, el cual se resume así: el ión  $\text{Ca}^{++}$  se reduce siempre durante el proceso de cocción de los frijoles y su reducción fue mayor en las muestras almacenadas a  $2^{\circ}\text{C}$  que en la muestra almacenada a  $32^{\circ}\text{C}$ .

Los niveles de  $\text{Mg}^{++}$  fueron de  $1/3$  a  $1/4$  de los del  $\text{Ca}^{++}$ , pero la tendencia seguida por el primer catione fue similar a la

del segundo durante el proceso de cocción. Parece que existe una relación directa entre cantidades altas de Calcio y Magnesio presentes en la cáscara con altas concentraciones de sustancias pécticas totales y sustancias pécticas insolubles (en agua), como también una alta firmeza del frijol cocinado. El K<sup>+</sup> presente en la cáscara parece no estar relacionado con las altas concentraciones de sustancias pécticas totales y las insolubles, ni con la firmeza de los granos (14).

Los contenidos de Mg<sup>++</sup> en el cotiledón fueron el doble que el de Ca<sup>++</sup>, el cual es la reserva del que fue encontrado en la cáscara. Los cotiledones puestos en remojo perdieron el Mg<sup>++</sup> y K<sup>+</sup> en cantidad inversamente proporcional al contenido de humedad del grano cuando fueron almacenados, es decir, que los granos que fueron almacenados con el menor contenido de humedad (12.5%), perdieron más Mg<sup>++</sup> y K<sup>+</sup> que los almacenados con contenidos de humedad mayores (14.9% y 17.9%). Adicionalmente, se perdió Mg<sup>++</sup> y K<sup>+</sup> durante el período de cocción. El contenido de Ca<sup>++</sup> del cotiledón no bajó significativamente en los 45 minutos que duró su período de cocción en los granos almacenados a 2°C, mientras que en los almacenados a 32°C, el calcio bajó un poco más pero siempre fue en grado leve (14).

Harman y Granet (8), citados por Moscoso (14), reportaron un incremento en la pérdida de Magnesio y Potasio de semillas envejecidas al ser sometidas a remojo. Ellos atribuyen este fenómeno al rompimiento del plasmalema en los cotiledones.

Mattson (11), también citado por Moscoso (14), sugiere una

relación directa entre la razón de cationes monovalentes a divalentes con un mejor cocimiento del frijol.

Moscoso (14) encontró una correlación positiva entre la razón de Cationes Monovalentes a Divalentes con la tasa de ablandamiento de los granos y con una aparente tasa de disolución de las pectinas, o sea, que al aumentar los cationes  $K^+$  y  $Na^+$  y disminuir el  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ , se espera que el ablandamiento del frijol sea más rápido debido a que aumentará la solubilidad de los pectatos al ser éstos de  $Na^+$  y  $K^+$  y no de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  (los cuales son insolubles en agua).

La relación entre el contenido del ácido fítico y la razón de cationes monovalentes a divalentes, fue negativa en la cáscara y positiva en los cotiledones (14).

Por otra parte, la relación es positiva en los cotiledones debido a que existe mayor contenido de ácido fítico, el cual precipitaron a los cationes divalentes, por lo que existirá mayor formación de pectinas hidrosolubles debido a la presencia dominante de los cationes monovalentes (14).

Se ha observado que frijoles envejecidos con contenidos bajos de ácido fítico (debido al rompimiento hidrolítico del fitato por la enzima fitasa, lo que provoca la formación de fosfato inorgánico, el cual no actúa como precipitantes del  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ ), presentaron pérdidas de  $K^+$  de los cotiledones durante el remojo (Mattson et al., 1950, citado por Moscoso (14). Parte de este potasio perdido en los cotiledones es retenido en la

cáscara, por lo que aumentará la razón de cateones monovalentes a divalentes (la que ya de por sí es negativa). Esta observación de la pérdida del K<sup>+</sup> la podemos ampliar con lo reportado por Harman y Granet (8) unos párrafos atrás.

La pérdida en las propiedades de cocción de granos secos de frijol almacenado, es asociada con una reducción del contenido de fósforo de ácido fítico y con una alteración en la razón de cateones monovalentes a divalentes en los frijoles remojados. Los granos son dejados con menos contenido de ácido fítico y menos cateones monovalentes que podrían solubilizar las sustancias pécticas por quelación e intercambio de iones durante el proceso de cocción (8).

#### 4.5.2 En el Suelo

##### 4.5.2.1 Fósforo

El fósforo es relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos como los nitrogenados que pueden ser volatilizad<sup>o</sup>s y lixiviados (4).

Esta alta estabilidad resulta de una baja solubilidad de P para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo. Esto puede evitarse en parte a través de una fertilización fosfatada, pero los fosfatos aplicados al suelo son objeto de reacciones rápidas de "fijación". Así, la dinámica del fósforo en el suelo incluye una serie de reacciones y transformaciones (4).

##### Procesos de Transformación del P

### Ciclo del P en suelos:

En los procesos dinámicos de los fosfatos en el sistema fertilizante suelo-planta, la disolución de los fertilizantes aplicados y de fosfatos orgánicos, son los procesos que llevan a la aparición de iones fosfato en la solución del suelo donde la planta se nutre; parte de los iones  $H_2PO_4$  absorbidos por la planta son excretados. Una parte de las plantas después de la cosecha se incorpora nuevamente al suelo donde los fosfatos orgánicos presentes son mineralizados. Al disolverse los fertilizantes en el suelo, presentan una serie de interacciones a través de procesos de adsorción en la superficie, de partículas coloidales y de precipitación en forma de fosfatos menos solubles; gran parte del P aplicado es "fijado" en el suelo. La velocidad de cada uno y de todos los procesos enumerados, determinan los cambios de P en el suelo y el ciclo correspondiente (4).

El conocimiento de todas las transformaciones que sufren los fosfatos en los suelos son de gran importancia, pues dan un criterio claro y específico sobre consideraciones a la fertilización fosfatada de los suelos y su manejo (4).

### Medidas agronómicas para controlar la fijación de P y aumentar el aprovechamiento de fertilizantes:

Los problemas del fósforo en suelos ácidos tropicales radica en que los fertilizantes fosfatados pasan rápidamente a formas férricas y aluminicas que no son tan aprovechables

por las plantas. Los problemas en los suelos calcáreos y alcalinos son de otra índole, pues las altas concentraciones de Ca y el alto pH inducen la precipitación de fosfatos cálcicos poco solubles (apatitas) (4).

Las medidas de control de la fijación de P se basan en una disminución de la velocidad de disolución, para tener una liberación continua y persistente de P del fertilizante y una alta concentración a largo plazo en la "zona del fertilizante", para que la planta aproveche el P aplicado en forma óptima; así resultan de gran importancia la elección del fertilizante a usarse, la dosis, el tamaño de las partículas, la forma y su época de aplicación. El fertilizante óptimo y su dosis, deben estudiarse para las condiciones específicas de un determinado suelo (pH, contenido y disponibilidad del P nativo, contenido en materia orgánica, carbonatos, sesquióxidos libres), su cultivo (sistema radicular, duración del cultivo) y el sistema de explotación (rotaciones de cultivos, laboreo del suelo) (4).

El sistema de aplicación dependerá del sistema radicular de la planta y del cultivo. Muchos investigadores han encontrado que una aplicación en bandas en las cercanías de las raíces en cultivos anuales es muy favorable. Mientras que en praderas, la aplicación al voleo es lo posible con el ritmo fisiológico del cultivo (4).

El tamaño de las partículas es un factor muy

importante. En general, los resultados indican que la granulaci3n de fertilizantes solubles en agua es muy favorable pues regula el ritmo de disoluci3n (4).

#### 4.5.2.2 Intercambio cati3nico

Los cationes aplicados en forma de fertilizantes presentan interacciones con los cationes cambiabiles del suelo; generalmente son adsorbidos, quedando protegidos del lavado pero a3n disponibles para la planta (4).

#### Interpretaci3n de las Relaciones Suelo-Planta

El crecimiento de las plantas exige el paso continuo de iones del sistema suelo a las ra3ces de las plantas. Los iones de la fase s3lida, bien sea de las part3culas cristalizadas o a partir de los coloides, pasan a la soluci3n del suelo, donde est3n en contacto con la superficie radical, penetran al espacio libre donde la planta puede absorberlos y transportarlos a los tejidos donde se necesitan. Desde el punto de vista de la descripci3n de la disponibilidad de nutrimentos y las relaciones suelo-planta, interesan por lo menos dos par3metros: el de la actividad i3nica de los diferentes elementos presentes en un momento dado en la soluci3n del suelo (par3metro de intensidad) y el de la reserva total de un elemento ligada a la fase s3lida del suelo y a su capacidad de reponer los iones en la soluci3n del suelo cuando las plantas los extraen o son eluviados (par3metro de capacidad). Para la derivaci3n de estos par3metros se

consideraron en detalle los conocimientos obtenidos en los últimos años sobre el complejo de intercambio catiónico y los cationes cambiabiles que lo rodean, los cuales presentan un equilibrio con los cationes presentes en la solución equilibrada del suelo (4).

Los suelos de desarrollo reciente, como son los andosoles de América Central, presentan altos valores de cationes cambiabiles, especialmente de Ca, Mg y K, debido a los materiales piroclásticos y cenizas volcánicas originarias, ricas en estos elementos. Los suelos analizados de la región Izabal son pobres en bases cambiabiles, por ser desarrollados sobre sedimentos depositados en la región y porque han sido objeto de una meteorización muy intensiva. También entre los suelos de una misma región geográfica, como Guatemala, se manifiestan diferencias grandes en las bases de los diferentes grupos de suelos. Los valores más altos de Ca cambiabile se encuentran en los fluvisoles poco meteorizados y disminuyen en los brunizemes y cambisoles de la región que han sufrido una mayor intemperización. El K cambiabile presenta los mayores valores derivados de cenizas volcánicas (4).

En la mayor parte de los suelos, el Ca predomina dentro de los cationes cambiabiles (4).

La suma de las bases cambiabiles, denominada también porcentaje de saturación, guarda una relación específica con el pH del suelo (4).

La intensidad de retención es mayor para todos los iones divalentes que para los monovalentes (4).

La actividad iónica de los elementos divalentes se encuentra bajo la raíz cuadrada y las disminuciones no son tan grandes como en los monovalentes. Esto es de gran importancia agronómica: a mayor lluvia, o sea, más cantidad de agua en el suelo (capacidad de campo), será más diluída la solución del suelo y mayor adsorción de los cationes divalentes en comparación con los monovalentes (4).

#### 4.5.2.3 Potasio

El contenido de K varía en los suelos generalmente entre 0,04 y 3%. En casos excepcionales como en suelos alcalinos, el contenido de potasio puede llegar hasta el 8%. El potasio que se presenta en los suelos asociados a los silicatos, o sea, el potasio estructural, representa la mayor parte del K en el suelo; en cambio este K no es disponible directamente para la planta pero participa en los procesos dinámicos con reacciones lentas (4).

El K intercambiable se encuentra adsorbido al complejo coloidal del suelo (arcillas, materia orgánica e hidróxidos) (4).

En muy pocos casos el K<sup>+</sup> sobrepasa una contribución del 40% de la suma de los cationes en la solución del suelo. la mayor proporción de la solución catiónica corresponde al Ca<sup>2+</sup> y al Mg<sup>2+</sup> (4).

En la mayor parte de los suelos el K constituye entre 2 y 8% de los cationes, mientras que al Ca y al Mg corresponden a mayores porcentajes (4).

La proporción de K cambiante en la cubierta iónica es también variable; generalmente contribuye entre el 1 y 5% de la capacidad de intercambio catiónico (4).

El potasio de la solución del suelo es directamente disponible por la planta y bajo condiciones específicas puede ser percolado, constituyendo a veces una pérdida de K en el suelo, la que puede variar entre 5 y 250 Kg K/ha y año, según las condiciones de contenido de K, intensidad de precipitación pluvial y cobertura vegetal (4).

Al disolverse los fertilizantes potásicos aplicados (KCl,  $K_2SO_4$  u otros) en el suelo, el K liberado pasa a formar parte de la solución del suelo. Por lo general, la velocidad de disolución es rápida, la influyen especialmente el tamaño de las partículas del fertilizante (la granulación la retarda sensiblemente), el pH del suelo, su relación y composición química (4).

El K intercambiante que se encuentra adsorbido al complejo coloidal (arcillas, materia orgánica, hidróxidos), está en equilibrio con el K de la solución del suelo. Al absorber K las plantas o al ser éste lavado, se produce su reposición en la solución del suelo a partir del K cambiante, por lo que esta fracción es muy importante en la nutrición vegetal, ya que representa una reserva donde se

almacena el K que poco a poco se pone a disposición de la planta. Al mismo tiempo, este potasio se protege del lavado a través de la adsorción (4).

La interpretación de la dinámica del potasio en el suelo implica consideraciones de equilibrios de flujo desarrollados en la termodinámica, considerando que las diferentes formas no son estables y definidas sino que sufren continuamente cambios graduales en sus magnitudes. Al absorber la planta potasio de la solución del suelo, éste debe ser repuesto paulatinamente a partir del K cambiante; a medida que se agota el K intercambiable será necesaria la reposición a partir del K no cambiante pero disponible. También los fenómenos de percolación causan pérdida de K en el suelo que se debe corregir gradualmente. La aplicación de fertilizantes y su disolución rápida o lenta interfieren nuevamente en el equilibrio de K a establecerse en el suelo; parte del K aplicado pasa entonces a formas cambiantes o fijadas (4).

#### Ciclo del Potasio en los Suelos

El cloruro o muriato de potasio ( $KCl$ , 60-63%  $K_2O$ ), es el fertilizante potásico más generalizado y altamente soluble en agua y de reacción neutra; al hidrolizarse resultan concentraciones elevadas de  $K^+$  y  $Cl^-$  en la "zona del fertilizante" y la velocidad de disolución depende del grado de la molienda. Los iones  $K^+$  resultantes son adsorbidos por el complejo de intercambio y en algunos

casos se acumulan entre paquetes laminares de lo que resulta la fijación del potasio. El  $K^+$  se difunde rápidamente en la solución del suelo de donde es absorbido por las plantas y en condiciones de alta humedad y percolación de agua resultan también grandes pérdidas de potasio (4).

#### 4.5.2.4 Calcio y Magnesio

##### Ciclo del calcio en los suelos

La dinámica del calcio es muy similar a la del potasio; se diferencia únicamente en que no presenta calcio "fijado" (4).

Los procesos de meteorización de minerales cálcicos, especialmente anfíboles y piroxenos llevan a la liberación de Ca estructural. El Ca en la solución del suelo se encuentra en equilibrio con el Ca intercambiable, la magnitud de ambas formas varía constantemente a través de la absorción de Ca por las plantas y las pérdidas por percolación (4).

Encontrándose el Ca en cantidades mayores en el complejo de cambio y en la solución del suelo, se comprende que los elementos que se pierden por lavado, son también mayores que los de Mg y K (4).

La absorción de Ca por las plantas varía entre 30 y 250 Kg CaO, siendo más baja para cereales que para leguminosas (4).

Los materiales de encalado se disuelven lentamente en

el suelo y producen efectos de corrección de: 1) los efectos negativos de deficiencia de las bases cambiables; 2) alto poder de fijación de fósforo (4).

### Contenido y Formas del Magnesio

El contenido en magnesio total de los suelos no calcáreos varía entre 0,1 y 1% de Mg. Igual que el potasio y el calcio, el magnesio nativo se encuentra en el suelo asociado a determinados minerales primarios o secundarios (4).

Asimismo, en los suelos calcáreos se encuentra magnesio nativo en forma de dolomita ( $\text{CaCO}_3$   $\text{MgCO}_3$ ), magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) aumentando su contenido en Mg total hasta 2 y 3% (4).

El magnesio también se encuentra adsorbido al complejo de intercambio catiónico del suelo. Las cantidades y la proporción con respecto a otros elementos es variable entre suelos (4).

### Ciclo del Magnesio

Las formas y la dinámica del Mg son muy parecidas a la de otros elementos alcalinos y alcalinotérreos como calcio, potasio y sodio. Se diferencian solamente las magnitudes de las formas y las cantidades que participan en los diferentes procesos (4).

La absorción de Mg por las plantas varía entre 10 y 60

Kg/ha y cosecha (4).

Las leguminosas absorben generalmente más Mg que las gramíneas.

Algunos fertilizantes contienen Mg como catión suplementario (metafosfatos cálcico-magnesianos) y otros como catión esencial ( $MgSO_4$ ). Después de su disolución pasa este Mg a formar parte del Mg en la solución del suelo y del Mg cambiante (4).

## V. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Fase de Campo

#### Localización:

El ensayo experimental se localizó en terrenos de la finca del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), situados en el municipio de San Raymundo, Departamento de Guatemala, a una distancia de 41 Kms. de la ciudad capital. Sus coordenadas son: 14° 45' 57" Latitud Norte y 90° 35' 50" Longitud Oeste.

#### Clima y Zona de Vida:

El clima de acuerdo al sistema Thornthwaite es considerado como: B' b' B1 (6), donde:

B'	=	Semicálido
b'	=	Invierno benigno
B1	=	Húmedo con invierno seco

Según el mapa de zonas de vida de Guatemala (6), el área se encuentra dentro de la zona de vida de bosque húmedo subtropical templado.

#### Factores a Evaluar:

Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na).

#### Niveles en el suelo

Los niveles de los elementos en el suelo previo al montaje del ensayo fueron: para el fósforo 29.80 ppm, Potasio 255 ppm, calcio

7.45 Meq/100 ml y el magnesio con 1.88 Meq/100 ml. El pH del suelo fue de 6.63.

**Niveles de los Factores a Evaluar:**

P	=	0	-	20	-	40	-	60	Kg/ha
K	=	0	-	50	-	100	-	150	Kg/ha
Ca	=	0	-	50	-	100	-	150	Kg/ha
Mg	=	0	-	36	-	72	-	108	Kg/ha
Na	=	0	-	25	-	50	-	75	Kg/ha

**Tratamientos Seleccionados:**

Los tratamientos seleccionados provienen de un factorial incompleto  $2^n = 2n$  (Matriz experimental Plan Puebla I) y su listado se presenta en el Cuadro 1 (20), son 28 en total.

**Fuentes de Nutrientos:**

- N: del sulfato de amonio y la urea (se aplicó por igual).
- P: del superfosfato triple (0-46-0).
- K: del muriato de potasio o KCL (0-0-60).
- Ca: de la caldolomita con 20.05% Ca.
- Mg: de la caldolomita con 12.31% Mg.
- Na: del cloruro de sodio con 34% Na.
- S: mezclado a 97 kg/ha y proviene del sulfato de Magnesio y sulfato de Amonio (se aplicó por igual).

(Cuadro 2)

**Diseño Experimental:**

Bloques al azar con tres repeticiones.

CUADRO 1  
TRATAMIENTOS

Kg/ha

No.	N	P 2	O 5	K O 2	Ca	Mg	Na	S
1	85	20		50	50	72	25	97
2		20		50	50	72	50	
3		20		50	100	72	25	
4	↓	20		50	100	72	50	↓
5		20		100	50	72	25	
6		20		100	50	72	50	
7		20		100	100	72	25	
8		20		100	100	72	50	
9		40		50	50	72	25	
10		40		50	50	72	50	
11		40		50	100	72	25	
12		40		50	100	72	50	
13		40		100	50	72	25	
14		40		100	50	72	50	
15		40		100	100	72	25	
16		40		100	100	72	50	
17		0		50	50	72	25	
18		60		100	100	72	50	
19		20		0	50	72	25	
20		40		150	100	72	50	
21		20		50	0	72	25	
22		40		100	150	72	50	
23		20		50	50	72	0	
24		40		100	100	72	75	
25		20		50	50	36	25	
26		40		100	100	108	50	
27		0		0	0	0	0	
28		40		0	0	0	0	

### Modelo Estadístico

$$Y_{ij} = M + B_i + j + \Sigma_{ij}$$

Donde:  $Y_{ij}$  = Variable Respuesta  
 $M$  = Media General  
 $B_i$  = Efecto del i...esimo tratamiento  
 $j$  = Efecto del j...esimo tratamiento  
 $\Sigma_{ij}$  = Efecto del error experimental

### Unidad Experimental

La unidad experimental tienen 2 m de ancho por 3 de largo, o sea 6 m<sup>2</sup>. La separación entre surcos es de 0.40 m y entre plantas en el surco es de 0.20 m. En total son cinco surcos con 15 plantas en cada uno, esto da un total de 75 plantas por unidad experimental

### Manejo de la Fertilización:

El K, Ca, Mg y Na, se juntaron y aplicaron al fondo del surco; se tapó con 3 cms. de suelo y luego se aplicó el N y P; se tapó con 5 cms. de suelo y se depositó la semilla volviendo a taparlo de nuevo. (Ver Figura 1).

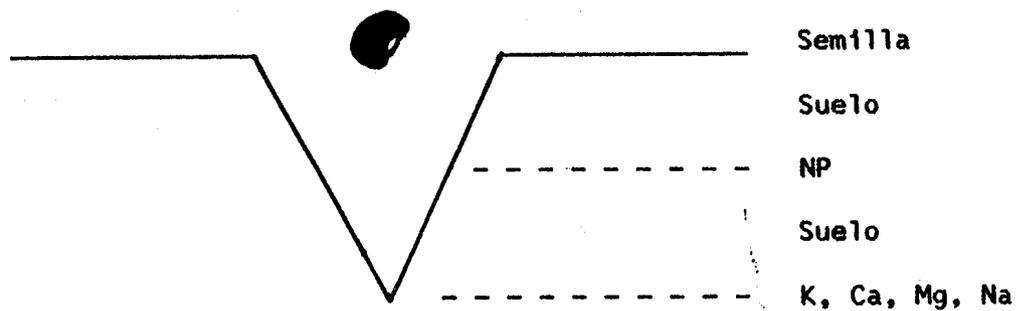


Figura No. 1. Manejo de la Fertilización

Variedad Usada: "ICTA TAMAZULAPA"

Area Experimental: 1161 m<sup>2</sup> (43 x 27 m) Ver Figura 2.

Area por Parcela: 6 m<sup>2</sup> (3 x 2 m) Ver Figura 2. La parcela neta fue la misma parcela bruta.

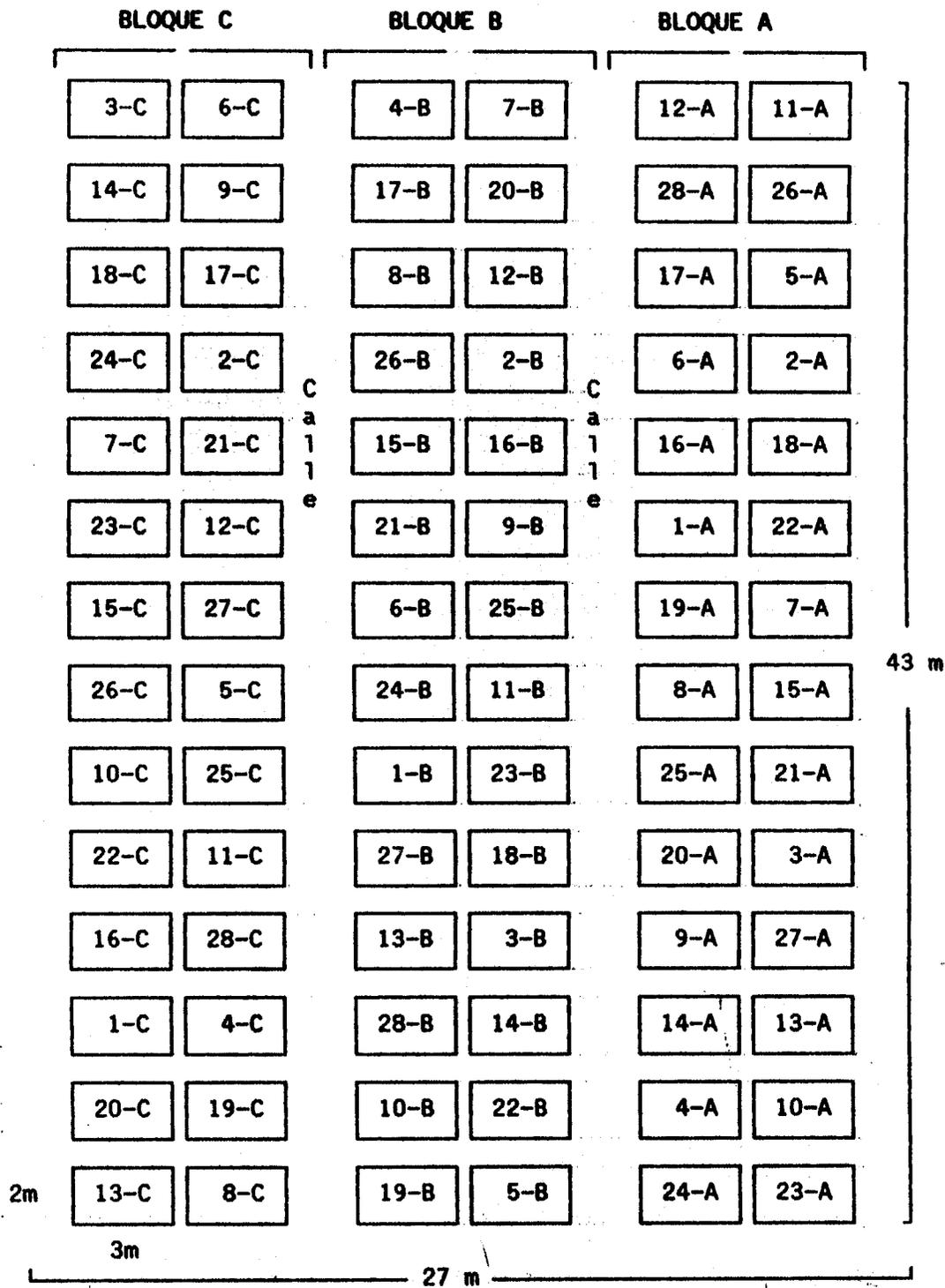


Figura 2. Croquis de Campo de Ensayo

## 5.2 Fase de Laboratorio

### Rendimiento:

Después de cosechado y limpiado el frijol, se procedió a llevarlo a los laboratorios del INCAP para determinar el peso que se obtuvo por parcela: Kgs/6 mts<sup>2</sup>.

### Contenido de Humedad:

A todas las muestras recién cosechadas se les hizo un análisis de contenido de humedad, por lo que se tomó de cada una un número determinado de granos (muestra representativa), los que fueron pesados y luego colocados en un horno al vacío, a una temperatura de 105° por 24 horas, y se pesaron de nuevo. El contenido de humedad constituye la diferencia de pesos.

### Cálculos:

Contenido de humedad (%) =

$$\frac{\text{Peso antes} - \text{Peso después}}{\text{Peso antes}} \times 100$$

### Almacenamiento:

- a. Aproximadamente la mitad de cada muestra fue almacenada en un cuarto a 36°C y a más o menos 80% de humedad relativa, o sea que fueron sometidas a un almacenamiento acelerado. Los análisis de tiempo de cocción, sólidos en el caldo y minerales, se hicieron a las 6 y 12 semanas de almacenaje.
- b. Aproximadamente la cuarta parte de cada muestra fue almacenada por un período de 12 semanas en un cuarto frío, con una

temperatura que oscila entre 2° y 4° C, y al final del cual se hicieron sus respectivos análisis (como en 1).

#### Método de Cocción:

El método empleado fue el Método de Mattson (11), en el cual se utiliza un aparato del mismo nombre (Fig. 3). Los frijoles remojados en agua destilada (durante 6 horas), son colocados en cada uno de los 25 orificios de la planta baja del cocinador Mattson y luego se coloca un rodillo a cada uno, de tal forma que su no muy aguda punta esté en contacto con la superficie de cada grano. Luego se coloca el aparato en una olla de agua hirviendo. Los frijoles son tomados por cocinados cuando la punta del rodillo los atraviese totalmente. El tiempo de cocción se toma cuando el 50% de los rodillos hayan atravesado a sus respectivos granos (13 rodillos).

Este método se uso inmediatamente después de la cosecha y después de cada período de almacenamiento.

#### Sólidos en Caldo:

##### a. Aparatos:

- Balanza analítica, precisión de 0.1 mg.
- Horno con vacío, calibrado a 60°C y vacío equivalente a 25 mm de Hg.
- Desecador, contenido desecante químico.
- Cápsulas de secamiento, diámetro 90 mm y alto 15 mm.
- Hornillas con reflujo de agua.
- Berselius de 600 ml. y canastas de asbestos.

b. Preparación de la Muestra:

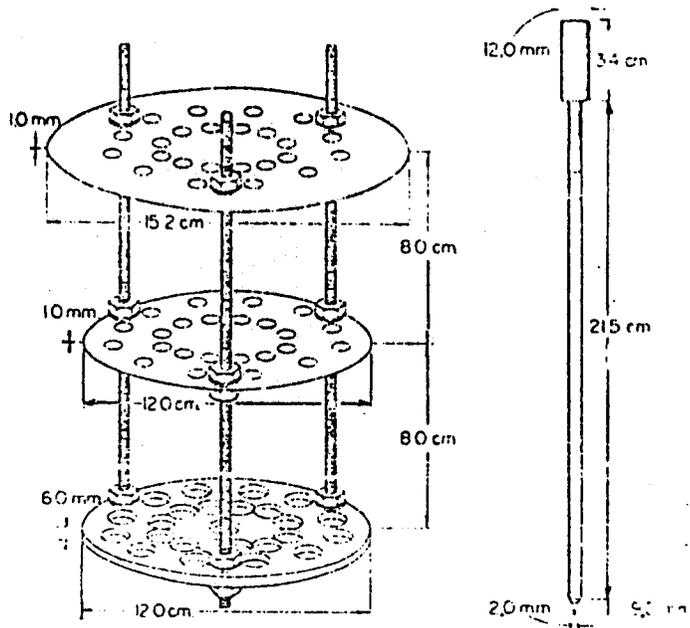
- Pesar una cantidad determinada de granos (W1).
- Ponerlos en remojo por 16 horas en 100 ml. de agua destilada.
- Desechar el agua de remojo al cabo de las 16 horas.

Colocar los granos remojados en Berselius de 600 ml en canastas de asbesto y aplicar 100 ml de agua destilada.

- Colocar Berselius en horno con reflujo por 120 minutos.
- Obtener una alícuota de 20 mls. del caldo obtenido en el proceso.

c. Procedimiento

1.
  - Índice de espesor de caldo de cocción.
  - Pesar cápsula de secamiento (W2).
  - Colocar alícuota de caldo en cápsula de secamiento y pesar (W3).
  - Colocar cápsula que contiene caldo, en horno con vacío durante 16 horas.
  - Remover cápsula del horno, dejar enfriar en desecador y pesar (W4).
2.
  - Porcentaje de sólidos por 100 gramos de peso de frijol.
  - Aquí intervienen el peso de los granos (W1) antes del remojo y la cápsula con los sólidos después de secada en horno.



**Figura 3. Cocinador Mattson**

d. Cálculos

1. Índice de espesor de caldo de cocción en porcentaje: =  
$$(W4 - W2) / (W3 - W2) \times 100$$

2. Porcentaje de sólidos por 100 gramos de peso de frijol: =  
$$(W4 - W2) \times 5 = W5$$

100 gramos de frijol contienen:

$$\frac{W5}{W1} \times 100$$

(por gramos de sólidos)

Minerales

a. Aparatos

- Crisoles pequeños
- Horno - Mufla a 500°C
- Balanza analítica, precisión de 0.1 mg.
- Balones de 100 mls.
- Papel filtro #1
- Estufa para crisoles
- Pipetas
- Desecador conteniendo desecante químico

b. Reactivos

- HCL 6 N

c. Procedimiento (Solución de cenizas)

- Pesar una cantidad determinada de granos y colocarlos en un crisol ya pesado.
- Colocarlos en la Mufla a 500°C por 10 horas.
- Sacarlos y colocarlos en desecador y pesar de nuevo los

- crisoles con las cenizas.
- Agregar 5 ml de HCL al crisol y luego ponerlo en una estufa por 2 horas aproximadamente (cocción).
- Agregar otros 5 ml al mismo crisol - calentarlos en la misma estufa por 30 minutos.
- Agregar agua destilada al crisol y pasarla a un balón de 100 ml en forma filtrada teniendo un papel filtro en el embudo usado.
- Llegar a volumen el balón con agua destilada.
- Colocar parte de esta muestra en botes plásticos y mandarlos al Laboratorio de Suelos del ICTA para el análisis de minerales de solución de cenizas.

**Variables Respuesta:**

Las variables respuesta usadas fueron:

- rendimiento en Kg/ha
- humedad en porcentaje
- tiempo de cocción en minutos
- sólidos en el caldo en porcentaje
- K en el grano en ppm
- Ca en el grano en meq/100 ml
- Mg en el grano en meq/100 ml
- Na en el grano en meq/100 ml

**Análisis de la Información:**

Se hicieron análisis de varianza para cada una de las variables estudiadas y para cada período del estudio, es decir, en recién cosechados, 6 y 12 semanas de almacenamiento acelerado.

La prueba de Tukey se hizo a los ANDEVA donde hubo diferencias significativas.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Rendimiento:

No se encontraron diferencias estadísticas entre los rendimientos de los 28 tratamientos (ver Cuadro 2).

El rendimiento promedio por tratamiento fue de 534 Kg/ha, con un máximo de 740.6 Kg/ha en el tratamiento 1 (20, 50, 50, 72 y 25 Kg/ha de P, K, Ca, Mg y Na, respectivamente) y con un mínimo de 230.6 Kg/ha en el tratamiento 17 (0, 50, 50, 72 y 25 Kg/ha). El tratamiento 27, que sirvió como testigo, dió un rendimiento promedio de 711.3 Kg/ha en sus tres repeticiones (al igual que el 1 y el 17), y fue el tercero más alto de los 28 (Cuadros 1 y 2).

### Humedad:

No se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de humedad de los 28 tratamientos (ver Cuadro 2).

El tratamiento con mayor contenido de humedad en los granos fue el 23, con 15.53%, y el más bajo fue el 2 con 13.60%. El promedio de contenido de humedad por tratamiento fue de 14.55%.

CUADRO 2

MEDIAS ( $\bar{x}$ ) DE:  
 RENDIMIENTO Y HUMEDAD  
 EN LOS FRIJOLES RECIEN COSECHADOS

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Humedad (%)
1	740.6	14.61
2	428.6	13.60
3	466.0	13.83
4	620.3	14.18
5	320.3	14.08
6	441.3	14.23
7	560.0	14.25
8	491.3	14.04
9	374.3	14.12
10	648.0	13.79
11	478.0	14.44
12	439.6	14.58
13	703.6	13.79
14	464.3	14.31
15	591.6	14.73
16	668.0	14.50
17	230.6	14.83
18	575.0	15.02
19	525.6	15.16
20	724.6	15.19
21	374.3	14.85
22	655.0	15.27
23	542.6	15.53
24	512.0	15.23
25	516.0	14.79
26	507.6	14.78
27	711.3	14.72
28	642.0	14.91
	$\bar{x} = 534.0$	$\bar{x} = 14.55$

### Tiempo de cocción:

Los resultados más relevantes se encontraron en los frijoles recién cosechados, ya que sí hubieron diferencias significativas. La prueba de Tukey (Cuadro 3), dió una diferencia estadística entre el tratamiento 20 y 7.

El tratamiento 20 (40, 150, 100, 72 y 50 Kg/ha de P, K, Ca, Mg y Na, respectivamente), fue el que presentó el menor tiempo de cocción con 17.33 minutos promedio. La característica de este tratamiento es que en él se aplicó el nivel más alto de K al suelo (Cuadro 1). Se dedujo preliminarmente que este catión monovalente se translocó en buena cantidad al grano e influyó en el proceso de su cocinamiento por la relación directa que existe entre la razón de cationes monovalentes a divalentes con la tasa de ablandamiento de los granos y con una aparente tasa de disolución de los pectatos. O sea que el alto contenido de K en el grano sustituye rápidamente en los pectatos al  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  precipitados por efecto del ácido fítico, y se espera que el ablandamiento del frijol sea rápido debido a que aumentará la solubilidad de dichos pectatos al transformarse en pectinas hidrosolubles, con lo cual concluye el proceso. En el análisis químico de este mismo tratamiento se observó que el catión divalente  $Ca^{++}$  está en menor proporción con respecto a los otros tratamientos (Cuadro 4), por lo que fue el catión  $Ca^{++}$  en menor porción y no el  $K^{+}$  en mayor proporción, el que influyó en el tiempo de cocción más bajo. Esto es debido a que el ácido fítico que precipita al  $Ca^{++}$  de los pectatos insolubles, no encontró suficiente de este catión para reaccionar y el proceso de cocción terminó siendo rápido.

El tratamiento 7 (Cuadro 1) fue el que mayor tiempo de cocción obtuvo, con una medida de 25.67 minutos. La característica de este tratamiento fue

que, al igual que los tratamientos del 1 al 8, se aplicaron los niveles más bajos de P al suelo (Cuadro 1), pero sólo el 7, 6, 5, 1, 8, 3 y 4, figuraron entre los ocho de mayor cocción (en orden de mayor a menor tiempo), encontrándose el tratamiento 2 en el décimo lugar. El fósforo es un elemento que forma parte del ácido fítico, el cual en el proceso de cocción sirve de precipitante del Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> asociados a las sustancias pécticas. Este proceso, como se explicó anteriormente, hace reaccionar a los cationes monovalentes K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> con estas sustancias, lo cual provoca el ablandamiento de los frijoles, pero al encontrarse en baja cantidad, el tiempo de cocción se alarga. Los bajos niveles de aplicación de fósforo en forma de triple superfosfato (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en los tratamientos del 1 al 8, fue la razón de su mayor tiempo de cocción con relación a los otros tratamientos, esto es debido a una menor formación de ácido fítico en el grano.

Se tiene, entonces, sólo una diferencia entre el tratamiento de más baja y más alta cocción, el 20 y el 7, respectivamente.

Los tratamientos del 1 al 8, exceptuando el 7, reflejan una tendencia parecida al mismo, pero no se demuestra estadísticamente (Cuadro 3).

**CUADRO 3**  
**PRUEBA DE TUKEY EN LOS FRIJOLES RECIEN COSECHADOS (28 Trat.)**  
**Tiempo de cocción (TC) en minutos**

Tukey		TC	N	Tratamientos
	A	25.6	3	7
B	A	24.3	3	6
B	A	23.6	3	5
B	A	23.0	3	1
B	A	22.3	3	8
B	A	22.0	3	14
B	A	22.0	3	3
B	A	22.0	3	4
B	A	21.6	3	21
B	A	21.6	3	2
B	A	21.6	3	10
B	A	21.0	3	19
B	A	21.0	3	12
B	A	21.0	3	26
B	A	20.6	3	9
B	A	20.3	3	15
B	A	20.3	3	17
B	A	20.3	3	28
B	A	20.3	3	11
B	A	20.3	3	25
B	A	20.0	3	24
B	A	20.0	3	13
B	A	19.6	3	27
B	A	19.3	3	16
B	A	19.3	3	23
B	A	19.0	3	18
B	A	18.3	3	22
B	A	17.3	3	20

Biblioteca central

CUADRO 4

MEDIAS ( $\bar{x}$ ) DE:

Porcentaje de sólidos en el caldo, K, Ca, Mg, Na,  
y Tiempo de cocción en frijoles recién cosechados

Trata- mientos	Sólidos %	K (Ug/ml)	Ca (meq/100 ml)	Mg (meq/100 ml)	Na (meq/100 ml)	Tiempo de cocción (minutos)
1	3.67	1252.6	168.0	180.6	4.40	23.0
2	6.03	1349.3	180.6	196.0	2.80	21.6
3	5.89	1311.0	174.0	189.6	2.56	22.0
4	5.42	1283.6	168.3	193.6	3.60	22.0
5	4.41	1346.3	174.3	198.3	4.50	23.6
6	5.82	1315.3	175.6	194.0	2.80	24.3
7	5.16	1335.3	163.6	196.6	2.93	25.6
8	4.63	1308.0	168.0	187.3	4.03	22.3
9	4.11	1336.6	174.6	200.6	3.20	20.6
10	4.26	1309.6	160.0	194.3	3.36	21.6
11	3.62	1321.3	175.3	195.0	3.50	20.3
12	4.29	1259.6	153.3	185.3	4.33	21.0
13	4.39	1288.3	157.0	191.6	2.93	20.0
14	4.78	1337.0	164.3	197.6	2.56	22.0
15	5.36	1344.6	167.6	195.0	2.83	20.3
16	4.89	1269.0	160.0	186.3	3.03	19.3
17	4.43	1314.0	170.6	195.0	3.56	20.3
18	5.30	1242.6	163.6	189.0	3.46	19.0
19	4.41	1242.6	155.6	183.3	3.13	21.0
20	4.92	1304.6	150.3	188.6	2.93	17.3
21	4.40	1365.0	166.3	193.0	3.40	21.6
22	4.61	1318.6	162.0	191.0	2.66	18.3
23	4.89	1315.6	177.6	192.3	2.63	19.3
24	4.96	1283.6	158.6	193.0	2.10	20.0
25	4.89	1301.6	172.0	188.0	2.50	20.3
26	3.92	1258.6	152.6	180.3	2.63	21.0
27	4.47	1422.6	184.0	203.3	2.93	19.6
28	5.03	1287.6	158.6	197.6	2.80	20.3



Con respecto a los frijoles almacenados a 6 y 12 semanas, no se encontraron diferencias estadísticas en su tiempo de cocción, además que la tendencia seguida no fue similar a la de los frijoles recién cosechados (Cuadros 5 y 6).

**Sólidos en el caldo:**

No se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, tanto para los frijoles recién cosechados como los almacenados, pero sí existen diferencias estadísticas entre los tres periodos estudiados: 0 semanas, 6 semanas, 12 semanas.

El porcentaje de sólidos fue mayor en los frijoles recién cosechados y menor en los de almacenados. (Cuadros 7, 9 y 11). Conforme avanzó el tiempo de almacenamiento acelerado, el caldo se hizo más ralo, o sea que el caldo en 12 semanas de almacenamiento es más ralo que el de 6 semanas.

CUADRO 5

MEDIAS ( $\bar{x}$ ) DE:

Porcentaje de sólidos en el caldo, K, Ca, Mg, Na y tiempo de cocción en frijoles con seis semanas de almacenamiento acelerado

Trata- mientos	Sólidos %	K (Ug/ml)	Ca (meq/100 ml)	Mg (meq/100 ml)	Na (meq/100 ml)	Tiempo de cocción (minutos)
1	2.94	1313.0	163.3	182.3	7.30	39.0
2	2.75	1413.0	178.0	192.3	4.56	36.3
3	2.75	1440.6	183.0	197.3	6.66	44.3
4	2.92	1401.0	168.0	204.6	4.53	38.6
5	2.92	1427.6	178.3	198.3	6.76	41.0
6	2.90	1345.0	167.3	184.6	3.83	39.6
7	3.06	1389.0	176.6	198.6	5.90	34.3
8	2.90	1388.0	169.3	192.0	6.76	37.6
9	2.92	1406.3	185.3	197.3	5.83	38.6
10	2.98	1496.3	184.3	218.0	5.80	39.0
11	2.90	1347.0	164.0	193.0	4.16	36.3
12	2.58	1227.0	147.3	173.3	5.96	38.3
13	3.12	1360.0	145.3	197.3	4.50	39.6
14	3.02	1355.3	149.6	197.6	3.90	37.6
15	2.95	1393.6	173.3	195.0	5.16	39.3
16	3.07	1369.0	162.6	192.3	5.13	40.0
17	2.98	1410.6	176.6	183.0	11.46	38.0
18	2.84	1354.3	161.6	193.3	4.80	39.6
19	2.69	1419.3	173.0	201.0	4.30	40.6
20	2.56	1426.3	162.3	197.3	5.23	36.6
21	2.73	1497.3	177.6	203.0	6.56	40.6
22	2.85	1363.0	161.0	192.3	4.63	36.0
23	2.99	1384.6	175.3	205.3	4.03	39.0
24	2.96	1383.6	157.6	195.6	4.03	41.6
25	2.94	1431.0	182.3	199.3	5.06	33.6
26	3.02	1480.3	167.3	194.0	6.53	40.6
27	2.80	1370.0	166.3	201.3	4.66	37.0
28	2.87	1391.6	171.3	209.6	5.50	35.6

CUADRO 6

MEDIAS ( $\bar{x}$ ) DE:

Porcentaje de sólidos en el caldo, K, Ca, Mg, Na y tiempo de cocción en frijoles con doce semanas de almacenamiento acelerado.

Trata- mientos	Sólidos %	K (Ug/ml)	Ca (meq/100 ml)	Mg (meq/100 ml)	Na (meq/100 ml)	Tiempo de cocción (minutos)
1	2.81	1368.0	169.6	197.0	3.93	45.0
2	2.86	1434.6	196.0	209.3	5.73	37.0
3	3.00	1543.3	218.3	213.6	8.86	40.0
4	2.80	1382.3	177.6	211.0	4.56	41.6
5	2.72	1455.6	188.0	214.0	4.90	41.6
6	2.97	1409.0	176.3	203.0	3.76	43.3
7	2.84	1394.3	174.6	207.0	5.46	40.3
8	2.74	1268.6	155.6	182.0	4.23	44.6
9	2.70	1398.6	183.6	217.6	3.76	41.3
10	2.67	1327.6	158.3	203.6	4.53	47.3
11	2.79	1381.6	169.0	215.6	4.40	42.3
12	2.59	1337.0	163.3	203.6	4.56	44.3
13	2.58	1278.6	158.0	193.3	3.56	49.3
14	2.79	1356.0	162.6	211.3	4.10	42.6
15	2.77	1306.6	175.6	196.6	4.80	41.6
16	2.67	1283.3	173.3	192.6	4.60	44.6
17	2.74	1448.3	197.6	197.0	9.83	52.6
18	2.68	1306.0	163.0	192.0	4.20	53.6
19	2.70	1354.3	180.0	200.0	4.50	52.6
20	2.59	1309.3	163.6	189.6	4.90	54.3
21	2.89	1480.3	217.6	206.0	7.03	51.0
22	2.79	1310.3	171.0	200.3	3.90	48.6
23	2.72	1360.6	169.3	211.0	4.50	50.6
24	2.74	1322.0	168.6	190.6	4.53	47.6
25	2.77	1376.0	179.6	196.0	5.10	48.0
26	2.70	1510.6	191.3	201.6	9.20	46.0
27	2.69	1358.3	163.0	206.3	4.53	43.3
28	2.65	1369.3	155.0	204.3	5.23	44.6

## VII. CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los resultados y discusiones se concluye que:

1. En los frijoles recién cosechados se obtuvo el tiempo de cocción más bajo al aplicar al suelo el nivel más alto de K, ya que esto provocó la menor concentración de Ca en el grano.
2. En los frijoles recién cosechados se obtuvo el tiempo de cocción más elevado al aplicar al suelo un nivel bajo de P, ya que esto provocó una menor formación de ácido fítico en el grano.
3. La aplicación al suelo de P, K, Ca, Mg y Na en distintos niveles no influyó en el proceso de cocinamiento de los granos después que fueron sometidos a condiciones de almacenamiento.
4. La aplicación al suelo de P, K, Ca, Mg y Na en distintos niveles no mostró significancias estadísticas ni tendencia alguna en el porcentaje de sólidos en el caldo, tanto para los frijoles que fueron analizados cuando recién se cosecharon, como los que se analizaron después del almacenamiento.

## VIII. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda realizar estudios con diferentes variedades de frijol y en distintas áreas del país, con el fin de encontrar los niveles de N - P- K adecuados para mejorar la calidad de cocinamiento sin alterar el rendimiento de campo del mismo. A la par de esto se recomienda realizar un estudio económico en el caso de que los resultados impliquen un incremento en el costo de producción. Esto debido a que el beneficio económico adquirido en el ahorro de energía de cocinamiento puede ser más bajo que el incremento de este costo.

## IX. BIBLIOGRAFIA

1. CREAM, D. E. C.; HAISMAN, D. R. 1963. The interaction between phytic acid and divalent actions during the cooking of dried peas. *J. Sci Fd Agric. (G. B.)* 14: 824 - 833.
2. DOESBURG, J. J. 1963. Pectic substances in fresh and preserved fruits and vegetables. The Netherlands Institute for Research on Storage and processing of Horticultural Produce (Holanda) 25: 851-871.
3. ELIAS, L. G. 1982. Conocimientos actuales sobre el proceso de endurecimiento del frijol. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Gua)* 32(2): 233-257.
4. FASSBENDER, H. W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Costa Rica, IICA. 223 p.
5. GLOYER, W. O. 1921. Sclerema and hardshell, two types of hardness of the beans. *Proc. Am. Assoc. (EE.UU.)* 13: 60.
6. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1972. Atlas nacional de Guatemala. Guatemala. 52 p.
7. HAISMAN, D.R. 1962. Factors controlling the texture of peas. *Proceedings 1st. International Congress on Food Science & Technology. (G. B.)* 1: 711 - 718.
8. HARMAN, G. E.; GRANETT, A. L. 1972. Deterioration of stored pea seed: changes in germination, membrane permeability and ultra-structure resulting from infection by aspergillus rubber and from aging. *Physical Plant. Pathol. (G. B.)* 2: 271-278.
9. JACKSON, M.; VARRIANO-MARSTON, E. 1981. Hard-to-cook phenomenon in beans: effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. *J. Food Sci. (EE.UU.)* 46: 799-803.
10. KON, S. 1980. Effect of soaking temperature on cooking and nutritional quality of beans. *J. Food Sci. (EE.UU.)* 44: 1329.
11. MATTSON, S. 1980. The cookability of yellow peas. *Acta. Agri. Succ. (EE.UU)* 1: 185.
12. -----; AKEBERG, E.; ERICKSSON E. 1950. Factors determining the composition and cook-ability of peas. *Acta Agr. Scand. (EE.UU)* 1: 40 - 61.

13. MOSCOSO, W. 1982. Efecto del almacenamiento a temperatura y humedad altas sobre algunas características físicas y químicas del frijol. Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Gua) 32(2): 342 - 365.
14. -----; BOURNE, M. C.; HOOD, L. F. 1984. Relationship between the hard-to-cook phenomenon in red kidney beans and water absorption, puncture force, pectin, phytic, acid and minerals. J. Food Sci. (P. R.) 49: 1578 - 1583.
15. QUENZER, N. M. 1978. Some factors affecting pinto bean quality. J. Food Sci. (EE.UU.) 43: 1059 - 1061.
16. ROCKLAND, L. B.; JONES, F. T. 1974. Scanning electron microscope studies on dry beans: effects of cooking on the cellular structure of cotyledons in rehydrated large lima beans. J. Food Sci. (EE.UU) 39: 342- 346.
17. SEFA-DEDEH, S.; STANLEY, D. W. 1979. The relationship of microstructure of cowpeas to water absorption and dehulling properties. Cereal Chem. (EE.UU.) 56: 279-86.
18. -----; VOISEY, W. 1979. Effect of storage time and conditions on the hard-to-cook defect in cowpeas (Vigna unguiculata) J. Food Sci. (EE.UU) 44: 790-796.
19. VARRIANO-MARSTON, E.; JACKSON, M. 1981. Hard-to-cook phenomenon in beans; Structural changes during storage and inhibition. J. Food Sci. (EE.UU.) 46: 1379-80.

Vo. Bo.

*Patruelle*



**X. ANEXOS**

**CUADRO 7**

**ANALISIS DE VARIANZA DEL TIEMPO DE COCCION  
EN LOS FRIJOLES RECIENTE COSECHADOS**

**Análisis de Varianza**

**Variable Dependiente: TC**

<b>Fuente de Variación:</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>F.C.</b>	<b>Signifi- cancia</b>
<b>Modelo:</b>	29	300.15476190	10.35016420	1.91	0.0200
<b>Error:</b>	54	292.83333333	5.42283951		
<b>Total corregido:</b>	83	592.98809524			

<b>C.V.</b>	<b>Raíz C.M.</b>	<b>Media General</b>
11.082761	2.3286991	21.01190476

**Análisis de Varianza**

**Variable Dependiente: TC**

<b>Fuente de Variación:</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>F.C.</b>	<b>Signifi- cancia</b>
<b>BLOQUE:</b>	2	41.166667	20.583333	3.80	0.0287
<b>TRAT:</b>	27	258.988095	9.592152	1.77	0.0374

**CUADRO 8**

**ANALISIS DE VARIANZA DEL TIEMPO DE COCCION  
EN LOS FRIJOLES ALMACENADOS A 6 SEMANAS**

**Análisis de Varianza**

Variable Dependiente: TC

Fuente de Variación:	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F.C.	Signifi- cancia
Modelo:	29	489.64285714	16.88423645	0.66	0.8899
Error:	54	1391.16666667	25.76234568		
Total corregido:	83	1880.80952381			

C.V.	Raíz C.M.	Media General
13.167252	5.0756621	21.01190476

**Análisis de Varianza**

Variable Dependiente: TC

Fuente de Variación:	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F.C.	Signifi- cancia
BLOQUE:	2	58.16667	29.08333	1.13	0.3309
TRAT:	27	258.988095	15.98060	0.62	0.9105

**CUADRO 9**

**ANALISIS DE VARIANZA DEL TIEMPO DE COCCION  
EN LOS FRIJOLES ALMACENADOS A 12 SEMANAS**

**Análisis de Varianza**

**Variable Dependiente: TC**

<b>Fuente de Variación:</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>F.C.</b>	<b>Signifi- cancia</b>
<b>Modelo:</b>	29	1835.1666667	63.2816092	2.07	0.0103
<b>Error:</b>	54	1649.0714286	30.5383598		
<b>Total corregido:</b>	83	3484.2380952			

**C.V.**

**Raíz C.M.**

**Media General**

12.082165

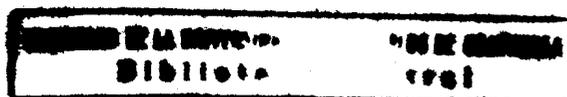
5.5261523

45.73809524

**Análisis de Varianza**

**Variable Dependiente: TC**

<b>Fuente de Variación:</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>F.C.</b>	<b>Signifi- cancia</b>
<b>BLOQUE:</b>	2	143.59524	71.79762	2.35	0.1049
<b>TRAT:</b>	27	1691.57143	62.65079	2.05	0.0124



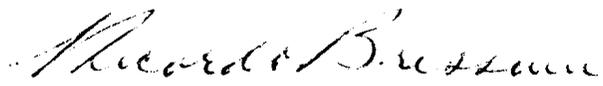


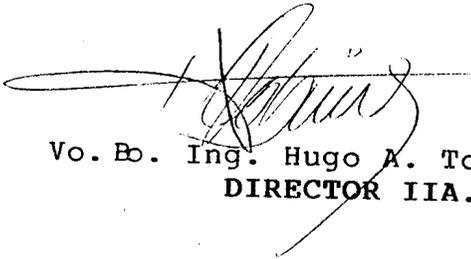
**LA TESIS TITULADA:** EFECTO DE FERTILIZACION CON DIFERENTES NIVELES DE P, K, Ca. Mg, y Na SOBRE EL TIEMPO DE COCCION Y EL CONTENIDO DE SOLIDOS EN EL CALDO DE FRIJOL COMUN (Phaseolus vulgaris L.)

**DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:** JAVIER ARTURO FRANCO JORDAN.  
**CARNET No.** 82-13877

**Ha sido evaluada por los Profesionales:** Ings. Agrs. Marco Tulio Aceituno, Salvador Sánchez y Gustavo Méndez.

Los Asesores y Autoridades de la Facultad de Agronomía hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

  
Dr. Ricardo Bressani  
ASESOR

  
Vo. Bo. Ing. Hugo A. Tobías  
DIRECTOR IIA.

I M P R I M A S E :

  
Ing. Agr. Anibal Martínez  
DECANO



HT/dydea