

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



“DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA GERMINACIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDO FÍTICO Y HIERRO SOLUBLE EN 4 VARIEDADES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) SELECCIONADAS DE 20 CULTIVARES”

Pablo García Méndez

Guatemala
2008

“DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA GERMINACIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDO FÍTICO Y HIERRO SOLUBLE EN 4 VARIEDADES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) SELECCIONADAS DE 20 CULTIVARES”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**“DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA GERMINACIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDO FÍTICO
Y HIERRO SOLUBLE EN 4 VARIEDADES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) SELECCIONADAS DE 20
CULTIVARES”**

Pablo García Méndez

Guatemala
2008

VoBo:

(f) _____
Dr. Ricardo Bressani

Tribunal

(f) _____
Dr. Ricardo Bressani

(f) _____
Lda. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) _____
Lda. Patricia Palacios de Palomo

Fecha de aprobación del examen de graduación: 03 de Diciembre de 2008

ÍNDICE

	Página
Lista de tablas	vi
Lista de gráficos	viii
Resumen	ix
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
III. Hipótesis	3
IV. Justificación	4
V. Antecedentes	5
VI. Materiales y métodos	17
VII. Resultados	18
VIII. Discusión de resultados	23
IX. Conclusiones	28
X. Recomendaciones	29
XI. Bibliografía	30
XII. Anexo	32

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Componentes del frijol común	6
2. Consumo de leguminosas de grano en los países latinoamericanos, excluyendo el frijol soya y el maní	9
3. Efecto de la cocción del frijol sobre su valor nutritivo en Guatemala	10
4. Reacción a las enfermedades y plagas de mayor importancia económica	16
5. Peso del grano promedio y volumen de grano promedio de las 20 variedades de frijol sin germinar	18
6. Porcentaje de absorción de agua, porcentaje de cáscara y tiempo de cocción de las 20 variedades de frijol sin germinar	19
7. Porcentaje de humedad y cenizas de las 20 variedades de frijol sin germinar	20
8. Porcentaje de proteína, hierro soluble y ácido fítico de las 20 variedades de frijol sin germinar	21
9. Porcentaje de proteína, hierro soluble y ácido fítico de las 4 variedades de frijol germinadas	21
10. Comparación del porcentaje de proteína, hierro soluble, ácido fítico y tiempo de cocción de las 4 variedades de frijol antes y después de la germinación	22
11. Correspondencia entre el número de la variedad asignada y el nombre de la misma	32
12. Análisis de varianza de peso en las 20 variedades de frijol sin germinar	33
13. Análisis de varianza del volumen del grano en las 20 variedades de frijol sin germinar	34
14. Análisis de varianza del porcentaje de absorción de agua de las 20 variedades de frijol sin germinar	35
15. Análisis de varianza del porcentaje de cáscara de las 20 variedades de frijol sin germinar	36
16. Análisis de varianza del tiempo de cocción de las 20 variedades de frijol sin germinar	37
17. Análisis de varianza del porcentaje de humedad de las 20 variedades de frijol sin germinar	38

18. Análisis de varianza del porcentaje de cenizas de las 20 variedades de frijol sin germinar	39
19. Análisis de varianza del porcentaje de proteína de las 20 variedades de frijol sin germinar	40
20. Análisis de varianza del contenido de hierro soluble en las 20 variedades de frijol sin germinar	41
21. Análisis de varianza del contenido de ácido fítico en las 20 variedades de frijol sin germinar	42
22. Análisis de varianza del porcentaje de proteína de las 4 variedades de frijol germinadas	42
23. Análisis de varianza del contenido de hierro soluble en las 4 variedades de frijol germinadas	43
24. Análisis de varianza del contenido de ácido fítico en las 4 variedades de frijol germinadas	43
25. Análisis de varianzas del tiempo de cocción en las 4 variedades de frijol germinadas	43

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
1. Peso de grano promedio (frijol sin germinar)	44
2. Volumen de grano promedio (frijol sin germinar)	44
3. Absorción de agua (frijol sin germinar)	45
4. Porcentaje de cáscara (frijol sin germinar)	45
5. Tiempo de cocción (frijol sin germinar)	46
6. Porcentaje de humedad (frijol sin germinar)	46
7. Porcentaje de cenizas (frijol sin germinar)	47
8. Porcentaje de proteína (frijol sin germinar)	47
9. Hierro soluble (frijol sin germinar)	48
10. Ácido fítico (frijol sin germinar)	48
11. Efecto de la germinación en el porcentaje de proteína	49
12. Efecto de la germinación en el contenido de hierro soluble	49
13. Efecto de la germinación en el contenido de ácido fítico	50
14. Efecto de la germinación en el tiempo de cocción	50

RESUMEN

En este trabajo se establecieron los efectos que tiene el proceso de germinación del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) a través de la evaluación de ciertos parámetros, tales como: el contenido de hierro soluble, de ácido fítico, proteína y tiempo de cocción. La razón es que numerosos estudios llevados a cabo en frijol, sugieren un incremento en el valor nutricional del grano, así como la disminución de los factores anti-nutricionales luego de la germinación. Se estudiaron 20 variedades de frijol distintas, cuyos nombres se describen en el anexo (Tabla No. A.1) y para efectos prácticos las llamaremos variedad 1, variedad 2, etc.

Se encontró que: la variedad 19 posee un peso y volumen de grano mayor que el resto, así como el menor porcentaje de agua; la variedad 8 presentó el menor volumen de grano promedio; la variedad 4 presentó el mayor porcentaje de absorción de agua, de humedad y de proteína; la variedad 20 presentó el menor porcentaje de cáscara, de cenizas y de proteína. Luego del proceso de germinación se encontró que: el porcentaje de proteína aumentó en las 4 variedades de frijol estudiadas; el contenido de hierro soluble disminuyó en todas las variedades excepto en la variedad 19; el contenido de ácido fítico se redujo en las variedades 8 y 20 y se incrementó en las variedades 4 y 19. Finalmente se encontró que el tiempo de cocción disminuyó en las variedades 19 y 20, mientras que en las variedades 4 y 8 permaneció constante. Luego de la evaluación de los resultados encontrados podemos afirmar que en general, el porcentaje de proteína disminuye luego de 7 días de germinación, al igual que el contenido de hierro soluble. Sin embargo, no podemos afirmar algo concluyente en cuanto al contenido de ácido fítico y tiempo de cocción a la luz de los resultados obtenidos a través de éste estudio.

I. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemorables el frijol ha sido un alimento que ha estado presente en gran proporción en la dieta de los pueblos latinoamericanos, incluyendo Guatemala. Ésta es una leguminosa que en nuestro país es muy susceptible a enfermedades, plagas y malezas que inciden de manera negativa en su rendimiento. Asimismo, la falta de condiciones de almacenamiento adecuadas y las consecuencias que esto trae hacen que el cultivo del frijol no sea muy atractivo para los agricultores de nuestro país.

El procesamiento del frijol trae consigo una serie de ventajas, tales como la reducción de los factores anti-nutricionales (inhibidores de tripsina, ácido fítico y oligosacáridos), lo que mejora de manera significativa el valor nutricional así como la disponibilidad del mismo, logrando así ofrecer un incentivo tanto para los agricultores como para el sector industrial. Al estandarizar los métodos de procesamiento, la demanda de frijol aumentaría y los agricultores se verían motivados a intensificar su cultivo al tener asegurada la venta de su cosecha.

El frijol que se usó en este estudio es producto del Programa de Frijol del Instituto de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (ICTA), que posee resistencia a enfermedades y plagas comunes, así como también un rendimiento marcadamente superior al de las variedades criollas cultivadas frecuentemente en nuestro país.

En este trabajo se pretendió establecer el efecto de la germinación en las características nutricionales de una harina de frijol. Para esto, el estudio se llevó a cabo en tres partes: en la primera parte, se evaluaron las características físicas del frijol; en la segunda parte, se llevaron a cabo un análisis químico de la harina de frijol sin germinar y en la tercera parte, se llevó a cabo un análisis químico de la harina de frijol germinado, luego de siete días.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL:

Determinar el efecto de la germinación en el contenido de ácido fítico, proteína, tiempo de cocción y hierro soluble en cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

B. ESPECÍFICOS:

1. Caracterización física y química de las 20 variedades de frijol sin germinar, a partir de la cual permite seleccionar las cuatro variedades a utilizar en el resto del estudio.
2. Determinar las diferencias en el contenido de ácido fítico, proteína, tiempo de cocción y hierro soluble en cuatro variedades de frijol, entre el frijol sin germinar y el frijol germinado.

III. HIPÓTESIS

A. De investigación:

El proceso de germinación durante siete días mejora las características químicas y funcionales del frijol.

B. Nula:

El proceso de germinación durante siete días no altera las características químicas y funcionales del frijol.

IV. JUSTIFICACIÓN

Guatemala, al igual que la mayoría de países de América Latina, incluye un porcentaje considerable de leguminosas en su dieta, predominante frijol negro (Elías *et al*, 1986). Es ampliamente conocido que el frijol es una fuente importante de proteínas, vitaminas hidrosolubles, minerales, fibra dietética, ácidos grasos poli-insaturados, etc (Mazza, 1998).

Sin embargo, además de las dificultades inherentes a su producción, la falta de condiciones adecuadas de almacenamiento, el endurecimiento, el bio-deterioro de los granos (insectos, hongos y roedores), la alteración en sus propiedades organolépticas como consecuencia de una alta humedad, entre otras cosas son obstáculos que desmotivan al agricultor a cosechar el frijol. Sin mencionar que como consecuencia de estos problemas éste debe vender su cosecha a un precio más bajo por temor a perderla completamente (Elías *et al*, 1975).

Como resultado de los problemas mencionados anteriormente, se hace apremiante encontrar una manera de subsanar sino todos, al menos algunos de los problemas que enfrenta nuestra población al tratar de cultivar este tipo de leguminosas. Este estudio propone en consecuencia, desarrollar una harina de frijol germinado, la cual esté elaborada utilizando frijol mejorado a partir del Programa de frijol del ICTA. Esta harina permitirá idealmente, una mayor estabilidad del producto, uniformidad y disponibilidad del producto, la inactivación de los inhibidores de tripsina, aumento en la digestibilidad de proteínas y carbohidratos, aumento de la calidad proteica, incremento del contenido de vitaminas y la reducción de los factores de flatulencia y ácido fítico así como la reducción de otros antinutrientes.

Asimismo, desde el punto de vista industrial, resulta atractivo debido a que el procesamiento del frijol le adhiere un valor agregado al mismo que perfectamente puede ser un aliciente para fomentar su procesamiento, ya sea para usar la harina como base para elaborar una sopa o para la elaboración de frijoles fritos enlatados. Ahora bien, desde el punto de vista netamente del cultivo (dejando por un lado las ventajas nutricionales), el utilizar estos tipos de frijoles mejorados tienen la ventaja de que son resistentes a plagas y enfermedades, sin mencionar un alto rendimiento en comparación con las variedades criollas que se acostumbra cultivar.

V. ANTECEDENTES

El frijol común es un cultivo típico entre los pequeños productores de América Central y del Sur, y principal (y en muchos casos única) fuente proteica para una parte significativa de la población en gran número de zonas en las que la agricultura de subsistencia es la principal actividad productiva. La superficie dedicada a su cultivo en el mundo abarca unos 27.5 millones de hectáreas, con una producción de 19 millones de toneladas y un rendimiento medio de 680 kg/ha. México y Brasil son los principales productores del continente con 2.2 y 5.0 millones de hectáreas y producciones de 1.5 y 2.8 millones de toneladas, respectivamente (Gispert, 2003).

A. Origen, distribución y descripción botánica del frijol común

El frijol es originario del continente americano y su domesticación se relaciona con la del maíz. Procede de México y Perú, donde se empezó a cultivar 7000 años A.C. junto con este cereal. Tuvo un gran desarrollo en las civilizaciones azteca, inca y maya. En los países citados se han encontrado restos fósiles de semillas y legumbres, aunque no hay pruebas arqueológicas de que las poblaciones indígenas recolectaran la especie espontánea *Phaseolus vulgaris*, que todavía sigue existiendo hoy. Una hipótesis para explicar tal ausencia de pruebas, sería que estas poblaciones recolectasen los frijoles, pero los usasen de una forma que no ha dejado restos visibles (Gispert, 2003).

A Europa lo llevaron los colonizadores, principalmente los españoles. Gracias a ellos, las judías o frijoles han llegado a convertirse en un alimento de primer orden en Europa, fundamentalmente en los países mediterráneos (Gispert, 2003).

La especie está adaptada al cultivo en los climas y suelos más diferentes, debido a la gran cantidad de tipos que existen. Los países asiáticos se han convertido en importantes productores, con casi la mitad del total mundial (Gispert, 2003).

El frijol tiene el sistema radicular característico de las leguminosas, con una raíz pivotante capaz de alcanzar gran profundidad. La germinación de la semilla comienza con el desarrollo de la radícula, que se ramifica abundantemente y es la encargada, junto con las sustancias de reserva almacenadas en la simiente, de nutrir a la planta durante sus primeros días de vida. Luego, el crecimiento de la raíz principal se detiene y se desarrollan muchas raicillas laterales (Gispert, 2003).

La morfología del tallo de los frijoles depende del cultivar de que se trate. Según su forma y su hábito de crecimiento, los cultivares se agrupan en dos tipos: los de crecimiento determinado y los de crecimiento indeterminado. Los de tipo de crecimiento determinado se ramifican más, la altura total de la planta es menor y al comenzar la floración cesa el desarrollo de la misma. Los de crecimiento indeterminado son los trepadores, que tienen la capacidad de seguir desarrollándose después de la floración. Debido a esta circunstancia, la altura de sus tallos puede variar desde los 50 cm hasta los 3 m (Gispert, 2003).

El primer par de hojas, que se origina a partir de los cotiledones, es opuesto y de forma acorazonada. Las hojas definitivas las forman tres folíolos; el central es ovoide y simétrico y los laterales, asimétricos. El tamaño varía con el cultivar y las condiciones de cultivo (Gispert, 2003).

Las flores están organizadas en racimos, situados en las axilas de las hojas, y su color varía del blanco al morado. Aunque el frijol produce menos flores que otras leguminosas como la soya, cuajan en él en mayor proporción. Las flores, hermafroditas y completas, comienzan a

desarrollarse por la parte inferior de la planta. Puesto que suelen autofecundarse, los cultivares se pueden multiplicar por semilla sin perder las características genéticas de la planta madre a medio plazo (Gispert, 2003).

El fruto del frijol es una vaina o legumbre, que varía mucho en forma, tamaño y número de semillas. Las semillas, a su vez, también presentan gran diversidad de formas (cilíndricas, elípticas u ovals) y colores (desde el blanco hasta el negro), pudiendo ser la coloración uniforme o manchada (Gispert, 2003).

Los frijoles se cultivan sobre todo para consumo humano. Los granos son ricos en carbohidratos, principalmente almidón y proteínas de alta calidad. También puede consumirse las vainas verdes de ciertos cultivares, cocidas o formando parte de ensaladas. En algunos países de África se consumen las hojas como si se tratase de espinacas, mientras que hay productores que utilizan diversos tipos de frijol para conseguir abono verde (Gispert, 2003).

El cultivo se realiza al aire libre o en invernaderos, modalidad ésta que adquiere cada vez más importancia. Permite aumentar la productividad y flexibilizar el momento de la cosecha en función del precio de mercado, logrando así excelentes rendimientos (Gispert, 2003).

El frijol es el alimento esencial en muchos países del continente americano, junto con el arroz o la harina de maíz. Debido a su reducido ciclo, se adapta muy bien a los sistemas de cultivo asociados, principalmente con maíz, yuca y calabaza (Gispert, 2003).

B. Contenido nutricional del frijol común

El frijol común es una de las más importantes fuentes de proteínas, calorías, vitaminas del complejo B y minerales en América Latina. A pesar que el contenido de proteínas de los cultivares comerciales de frijol común es relativamente constante, se han reportado valores en el rango de 16 a 33% para diversas líneas de frijol (Mazza, 1998).

Las proteínas del frijol común son de pobre valor nutricional a menos que se someta a tratamiento térmico. La tabla 1 muestra la razón de eficiencia proteica (PER), valor biológico, y la digestibilidad protéica verdadera del frijol común cocinado. Los valores de PER generalmente están en el rango de 72 a 92% dependiendo de la variedad de frijol (Mazza, 1998).

Tabla No. 1 Componentes del frijol común (Mazza, 1998).

Componente	Contenido
Contenido de proteína* (% base seca)	16-33
CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DE FRIJOLES COCINADOS	
PER**	0.9-1.7
Valor biológico (%)	77-92
Digestibilidad verdadera de la proteína (%)	77-92
Metionina + cisteína (g/100 g de proteína)	2.24-2.53
Lisina (g/100 g de proteína)	8.7
Fibra dietética (% base seca)	14-19
FRIJOL CRUDO	
Fibra insoluble	0.1-13.1
Fibra soluble	3.3-7.6

Continuación Tabla No.1

Componente	Contenido
FRIJOL COCINADO	
Fibra insoluble	13.4-22.9
Fibra soluble	3.1-7.0
ÁCIDOS GRASOS (g/100 g de lípidos libres)	
Linoleico	21-28
Linolenico	37-54
VITAMINAS (mg/100 g)	
Acido fólico	0.17-0.59
Niacina	1.16-2.68
Riboflavina	0.14-0.27
Tiamina	0.9-1.2
OLIGOSACÁRIDOS (g/100 g)	
Rafinosa	0.19-0.22
Estaquinosas	1.84-2.45
Acido fítico (mg/g)	22-28
Taninos (mg cat. Eq./mg)	9.6-131.4
Inhibidores de tripsina (TIU/g)	13-29

*N x 6.25

**PER, razón de eficiencia protéica

El consumo proteico de legumbres se ha asociado a una variedad de enfermedades. La administración de proteína de soya redujo el nivel de colesterol LDL en humanos y conejos. Los frijoles comunes se han reportado efectivos en la reducción del colesterol sanguíneo. El efecto hipocolesterolémico de los frijoles comunes se ha relacionado a su contenido de fibra. El mecanismo puede ser similar al sugerido para la fibra dietética y proteína de soya, el cual se cree que reduce el colesterol a través de una relación sinérgica entre estos dos componentes. Muchos estudios han sugerido que el consumo excesivo de proteína animal puede ser calciurético y que los consumos altos de proteína pueden ser responsables por los altos índices de fracturas en las naciones occidentales. Las proteínas del frijol común y de la soya son opciones excelentes para sustituir o disminuir el consumo de proteínas animales, y de ese modo tal vez reducir el riesgo de fracturas (Mazza, 1998).

La proteína del frijol común es generalmente caracterizada por su deficiencia en los aminoácidos azufrados y triptófano. Los estudios se han concentrado en estos aminoácidos, especialmente metionina y cisteína, debido a que estos son los aminoácidos esenciales específicamente limitantes (Mazza, 1998).

Debido a que la lisina es el principal aminoácido esencial deficiente en la mayoría de proteínas provenientes de plantas, la importancia de las leguminosas como el frijol común en la nutrición humana puede estar ampliamente desestimada. A pesar de que los cereales proveen cerca del 50% de la proteína en la dieta humana a nivel global, su desfavorable balance de aminoácidos requiere de proteína complementaria para una nutrición óptima. Una de las características benéficas más importantes de la proteína del frijol común puede ser su sobresaliente nivel de lisina. Así, los niveles de lisina en el frijol común satisfacen más del 500% de las asignaciones actuales para un adulto y 150% para niños (Mazza, 1998).

1. *Fibra dietética.* La fibra dietética es otro componente sobresaliente del frijol común. Se han asociado numerosos beneficios a la salud con el consumo de adecuadas cantidades de fibra, incluyendo la disminución de los niveles de colesterol en sangre, riesgo reducido de enfermedades del corazón, disminución del tiempo de tránsito intestinal,

reducción del riesgo de cáncer de colon, y una mejorada tolerancia a la glucosa, lo cual es específicamente benéfico para individuos con diabetes. Se ha centrado la atención en la fibra dietética del frijol común debido a su efectividad para disminuir el colesterol sanguíneo, incrementando la tolerancia a la glucosa, y reduciendo los requerimientos de insulina en pacientes diabéticos. El contenido de fibra dietética del frijol común está en el rango de 14 a 19% en semillas crudas. El cocinado leve disminuye los niveles de fibra soluble y promueve un incremento marcado del contenido de fibra dietética insoluble (Mazza, 1998).

2. *Ácidos grasos.* El frijol común contiene de 1 a 3% de lípidos dependiendo de la variedad. Los lípidos neutrales son la clase predominante de lípidos, consistentes principalmente en triglicéridos, así como pequeñas porciones de ácidos grasos libres, esteroides y ésteres de esteroides. Los lípidos de frijol contienen cantidades sustanciales de ácidos grasos insaturados con un alto contenido de ácido linoléico y linolénico. Estos ácidos grasos poli-insaturados no pueden ser sintetizados por animales o humanos y son requeridos para el crecimiento normal, estructura celular, funciones de todos los tejidos, y la síntesis de prostaglandina. Estos deben ser consumidos en la dieta. El efecto hipocolesterolémico de los frijoles comunes en ratas ha sido atribuido en parte a altos niveles de ácidos grasos poli-insaturados tales como el linoléico y el linolénico (Mazza, 1998).

3. *Vitaminas.* Los frijoles comunes crudos son una fuente relativamente buena de vitaminas hidro-solubles, especialmente tiamina (0.9-1.2 mg/100 g), riboflavina (0.14-0.27 mg/100 g), niacina (1.16-2.68 mg/100 g), y ácido fólico (0.17-0.59 mg/100 g). Los valores de retención de nutrientes varían durante la cocción de 70.9 a 75.9% dependiendo de la vitamina. El ácido fólico ha sido sugerido como un potente nutraceutico. El frijol común es una fuente excelente de ácido fólico; por ejemplo, una porción de 100 g de frijol común puede satisfacer los requerimientos diarios de ácido fólico tanto de adultos como niños. Las deficiencias de vitaminas del complejo B producen anemia megaloblástica. La deficiencia de ácido fólico durante el embarazo puede producir defectos en los tubos neurales (Mazza, 1998).

El frijol común puede contribuir con cantidades sustanciales de tiamina a la dieta, debido a que una porción de 100 g contiene cerca del consumo recomendado en adultos y satisface completamente el consumo diario en niños. Los síntomas de deficiencia de tiamina incluyen fatiga, irritabilidad, pérdida de peso y complicaciones cardiovasculares (Mazza, 1998).

4. *Otros componentes.* Otros componentes de los frijoles comunes incluyen oligosacáridos, taninos, inhibidores de tripsina, y ácido fítico (Tabla 1). La calidad nutricional de los frijoles puede ser mejorada a través del remojo, la cocción, germinación o irradiación. Los efectos de tales tratamientos varían con cada cultivar y tratamiento. En general, todos los tratamientos reducen los niveles de oligosacáridos, y los así llamados factores antinutricionales en los frijoles (Mazza, 1998).

La cocción gelatiniza el almidón, altera la textura, y mejora el sabor, de esta manera se logra que las leguminosas se hagan apetecibles. El calor moderado aumenta la disponibilidad de las proteínas y elimina sustancias tóxicas. Los frijoles secos contienen lectinas (hemaglutininas) que son tóxicas (Charley, 2000).

A pesar de los aspectos negativos asociados con los oligosacáridos rafinosa y estaquinosa en el frijol común, estos compuestos pueden ejercer efectos beneficiosos tales como la prevención de la constipación, la reducción de la presión sanguínea, y el efecto anticancerígeno (Mazza, 1998).

Los componentes de los frijoles tales como los polifenoles y los taninos condensados no pueden ser removidos completamente por el proceso. Altos niveles de polifenoles están presentes en frijoles coloreados (amarillo, amarillento, rojo, pinto y negro). Las variedades y tipos de frijol coloreado son los favorecidos en muchos países de Sur y Latino América. En el pasado, los taninos se han considerados negativos; sin embargo, un sinnúmero de reportes recientes han atribuido ciertas propiedades benéficas a estos compuestos. Similarmente, los polifenoles han figurado como agentes anti-carcinogénicos y anti-artereoscleróticos (Mazza, 1998).

C. El empleo del frijol común en América Latina

Las leguminosas de grano se han reconocido como fuentes importantes de proteína en la dieta de poblaciones de muchas regiones tropicales del mundo. En vista que la producción de carne, leche, huevos y pescado aumenta lentamente, las leguminosas de grano ofrecen una solución al problema de una deficiencia cada vez mayor de proteína. Ellas pueden fácilmente cubrir la necesidad de cantidad de proteína, y, lo que posiblemente es más importante, éstas pueden también, cuando se consumen en cantidades apropiadas, proveer la calidad proteínica deseada para la alimentación de grupos de población vulnerables, como los infantes, niños, madres embarazadas y lactantes (Bressani *et al*, 1975).

Es difícil conseguir información acerca del consumo de leguminosas, y los datos que pueden obtenerse se derivan en su mayoría, de los registros de producción; sin embargo, existe alguna información más confiable de algunas encuestas dietéticas. Aún con las limitaciones inherentes a estos tipos de estadística, los valores reportados de ambas fuentes por países latinoamericanos, figuran en la Tabla No.2. Esta tabla también incluye información sobre la ingesta total dietética de calorías y de proteína, así como sobre las leguminosas de grano que se consumen (Bressani *et al*, 1975).

Tabla No. 2 Consumo de leguminosas de grano en los países latinoamericanos, excluyendo el frijol soya y el maní (Bressani *et al*, 1975).

País	Alimento producido por las leguminosas de grano			Ingesta total	
	Ingesta g/día	Calorías 1/día	Proteínas 1/día	Calorías 1/día	Proteínas 1/día
Argentina	6.3	20	1.3	2820	81.6
Bolivia	5.6	19	1.3	1840	47.9
Brasil	64.4	220	14.8	2780	66.3
Chile	27.1	92	5.8	2410	77.2
Colombia	11.4	38	2.6	2160	51.9
Costa Rica	27.3	93	6.0	2430	53.9
Ecuador	26.3	91	6.1	1890	48.4
El Salvador	31.6	108	7.1	2030	56.7
Guatemala	23.3	80	5.3	2080	55.4
Honduras	29.9	102	6.6	2080	53.7
México	54.7	208	12.0	2610	71.9
Nicaragua	72.0	245	17.3	1986	64.4
Panamá	24.0	82	5.2	2310	58.1
Paraguay	30.6	105	7.1	2560	64.1
Perú	26.2	91	5.8	2230	55.9
Uruguay	9.0	28	1.8	3220	104.3
Venezuela	29.6	100	6.5	2310	58.7

Se puede concluir, por tanto, que, excepto en tres o cuatro países de los 17 estudiados, las leguminosas de grano son parte de la dieta del pueblo. Sin embargo, la ingesta no es realmente tan alta como fuera deseable, probablemente por razones distintas a la falta de aceptación o porque no pertenecen al patrón alimenticio de la región. La razón debe ser más probablemente su falta de disponibilidad. Aunque la especie de leguminosa **P. vulgaris** tanto negro, como rojo o blanco, ocupa el primer lugar en la mayoría de los países, existe preferencia de color entre éstos, siendo los frijoles negros los preferidos (Bressani *et al*, 1975).

Debido a que el **Phaseolus vulgaris** es la leguminosa más aceptada en América Latina, nos detendremos más en la descripción de su preparación que en la de otras leguminosas (Bressani *et al*, 1975).

En el caso del **P.vulgaris** los granos se ponen con suficiente agua, como para cubrirlos, y con agua adicional para la absorción y evaporación. Usualmente se les agrega cebolla y otros ingredientes, y se cuecen a presión atmosférica durante 4 ó 5 horas hasta que los granos estén tiernos (Bressani *et al*, 1975).

El caldo del frijol que resulte, se consume en forma de sopa, con arroz, trocitos de pan tostado o cualquier otro alimento. Los frijoles cocidos pueden entonces, ser consumidos como están. Usualmente con plátanos, arroz o maíz en forma de tortillas, o bien se muelen y cuelean, para obtener los frijoles colados. Estos se mezclan con manteca o grasa para preparar frijoles fritos. Los cambios en composición química y valor nutricional se muestran en la Tabla No.3 (Bressani *et al*, 1975).

Parte de la fibra cruda se pierde durante el proceso de colado y el contenido de grasa aumenta como es de esperar en los frijoles fritos (Bressani *et al*, 1975).

El proceso de cocción mejora la calidad proteínica, por la destrucción de factores antinutricionales; pero los frijoles fritos muestran un valor algo inferior, probablemente debido a la destrucción de algunos de los aminoácidos esenciales como lisina y/o metionina. Existen variaciones al proceso de cocción descrito, particularmente en la adición de sales, como bicarbonato de sodio. En la mayoría de los países, los frijoles fritos son más populares para el consumidor (Bressani *et al*, 1975).

Tabla No. 3 Efecto de la cocción del frijol sobre su valor nutritivo en Guatemala (Bressani *et al*, 1975)

Producto obtenido del procesamiento	Aumento peso (g) (promedio)	P.E.R	Lisina Disponible g/16gN	Proteína %	Grasa %	Fibra cruda %
Frijol crudo	0	-	5.83	24.6	1.9	4.6
Frijol cocido	34	1.24	6.30	24.9	0.7	2.8
Caldo de frijol	-	-	-	1.9	0.1	0
Frijol colado	37	1.43	6.35	24.0	0.6	1.6
Frijol frito	10	0.87	5.17	17.8	13.3	1.6
Caseína	130	2.73	-	-	-	-

D. Problemas después de la cosecha

Por sus características físico-químicas, las leguminosas pueden ser consideradas como uno de los alimentos más estables. Sin embargo, períodos relativamente largos de almacenamiento requieren ciertas precauciones técnicas, para evitar cualquier efecto adverso en relación a su

calidad para procesamiento, en su valor nutritivo y en sus propiedades culinarias y organolépticas (Elías *et al*, 1975).

La calidad del frijol seco comprende la cualidad de suavizarse en un tiempo razonable de cocción, la uniformidad en el tamaño y color de las semillas, la ausencia de fisuras y condiciones sanitarias normales (Elías *et al*, 1975).

1. *Almacenamiento*. Como uno de los problemas tecnológicos más importantes que ha afectado indirectamente la producción y de una manera más directa la disponibilidad de las semillas de leguminosas se presenta la falta de condiciones adecuadas de almacenamiento. Este problema puede influir en estos aspectos principalmente de dos maneras:

El agricultor tiene que vender su cosecha a intermediarios a precio más bajo antes de presentarse la demanda, con lo que se reduce el incentivo económico (Elías *et al*, 1975).

La disponibilidad total se ve afectada por los cambios físico-organolépticos que ocurren en el frijol durante el almacenamiento en condiciones inadecuadas, siendo el endurecimiento del grano el efecto que se observa más a menudo (Elías *et al*, 1975).

De acuerdo con los resultados de algunos estudios llevados a cabo con el propósito de establecer las condiciones óptimas para mantener la calidad de los frijoles, los factores que más intervienen son el grado de humedad del grano, la temperatura ambiente, la humedad relativa y el tiempo de almacenamiento. Aunque no se han hecho estudios que evalúen simultáneamente estos cuatro factores variables, los resultados obtenidos hasta ahora indican que éstos tienen alguna interrelación (Elías *et al*, 1975).

2. *Alteraciones físicas*. El deterioro físico más notorio en la calidad por condiciones inadecuadas de almacenamiento es el endurecimiento de la cáscara del grano. Esta condición es generalmente evaluada por el tiempo que el frijol necesita para ablandarse por la cocción. Al incrementar la humedad, la temperatura y el período de almacenamiento, el tiempo de cocción aumenta considerablemente. Con una humedad en las semillas menor de 13 por ciento, no se afecta el tiempo de cocción, independientemente de la temperatura y del período de almacenamiento. La importancia que tiene el contenido de humedad en el grano, para conservar la calidad del frijol durante el almacenamiento, ha sido confirmada por otros estudios que indican una alta correlación positiva entre el contenido de humedad del grano y el tiempo de cocción. Es sabido que tal condición depende no sólo de la temperatura, sino también de la humedad relativa ambiental (Elías *et al*, 1975).

Un tiempo prolongado de cocción de los frijoles debido a diferencias de variedades o a condiciones adversas de almacenamiento, constituye un problema no sólo para el ama de casa por el gasto de combustible, sino que también a nivel industrial, ya que los procesadores de alimentos estandarizan los métodos de procesamiento (Elías *et al*, 1975).

Otro problema importante aunque menos apreciado es el bio-deterioro de los granos, al ser atacados por insectos, hongos y roedores. En este caso también las condiciones adecuadas de almacenamiento, el tratamiento apropiado y la limpieza del material contribuyen a ahorrar serias pérdidas de un alimento actualmente deficitario (Elías *et al*, 1975).

3. *Alteraciones químicas y organolépticas.* Además de los cambios observados en su textura, el frijol puede ser afectado durante su almacenamiento, en sus propiedades organolépticas. Los frijoles con un contenido de humedad superior a 10 por ciento desarrollan un olor y sabor desagradables, mientras que los almacenados con grado inferior de humedad conservan su calidad, por dos años. Estos cambios organolépticos se deben al deterioro de la fracción lipídica de las leguminosas. También es interesante señalar que el contenido de lípidos en las leguminosas, constituye relativamente un pequeño porcentaje de su composición total, variando de 1 a 6 por ciento según la especie. No obstante, se ha encontrado que un gran porcentaje del contenido de lípidos lo forman ácidos grasos no saturados que consisten principalmente en ácidos palmítico, linoléico, y con pequeñas cantidades de ácidos esteárico y oléico. La acción de la lipoxidasa que hay en el frijol sobre los ácidos grasos no saturados durante el almacenamiento puede muy bien ser la causa de que se produzca olor rancio. También es posible que la oxidación y polimerización de éstos, pueda causar cambios en permeabilidad al agua, afectando así el tiempo de cocción (Elías *et al*, 1975).

El principal factor que afecta la textura de los frijoles, o sea el contenido de humedad en el grano, es también responsable en gran parte por el deterioro de sus propiedades organolépticas (Elías *et al*, 1975).

E. Harina de frijol precocida

Las medidas para aumentar la producción así como las condiciones de almacenamiento de leguminosas, son uno de los aspectos más importantes para la solución de los problemas que enfrentan este cultivo. Un aspecto adicional es que requieren procesos tecnológicos para tomar en cuenta el incremento de disponibilidad. También es muy importante hallar nuevas maneras de utilización del producto (Elías *et al*, 1975).

La industrialización del frijol podría constituir de hecho una manera indirecta de incrementar su cultivo a través de un incentivo económico más estable y una garantía para la utilización de la cosecha. Permitiría además seleccionar variedades para la industria y en consecuencia, estimularía el empleo de mejores prácticas de cultivo (Elías *et al*, 1975).

Además, el producto procesado tendría las ventajas de: mayor estabilidad, disponibilidad constante a través de todo el año, más uniformidad, más fácil preparación y además podría ser un vehículo para otros nutrientes. El problema principal desde el punto de vista industrial es el económico, ya que el procesamiento involucra un aumento en el costo final del producto. Este aspecto resulta más importante al tratarse de frijoles, puesto que es un ingrediente básico en la dieta de la mayoría de los países latinoamericanos (Elías *et al*, 1975).

Los tipos de procesamiento deben desarrollarse de acuerdo con los hábitos dietéticos de la población y con la forma en que se consume el alimento. Esto no significa que otro tipo de producto no pueda ser preparado; pero, al principio, sería mucho más fácil introducir preparaciones que formen parte de la dieta normal. Asimismo, el tecnólogo al preparar el producto, deberá tener en mente la conveniencia de las amas de casa. En el caso del frijol, los tipos de productos que pueden procesarse son: 1. Frijol entero precocido deshidratado. 2. Harina de frijol precocida. 3. Frijoles enteros enlatados. 4. Frijoles fritos enlatados. A continuación se analizará el procesamiento, ventajas y problemas de la harina de frijol precocida (Elías *et al*, 1975).

La tecnología a usarse en la preparación de la harina precocida de frijol es la siguiente: El material es sometido a remojo, cocción y deshidratación, seguido de la molienda. El producto final queda listo para el consumo una vez cocido durante 10 a 15 minutos. En este

proceso, el principal objetivo es obtener un producto de cocimiento rápido con el mínimo de deterioro en las propiedades organolépticas y nutricionales de la materia prima original (Elías *et al*, 1975).

Con respecto a las propiedades físicas, dos han sido los problemas encontrados: la textura del producto final y la decoloración de la harina. La pérdida parcial del color se observa más cuando se emplea frijol negro (Elías *et al*, 1975).

Este cambio aparentemente puede controlarse mediante condiciones de procesamiento durante la cocción. La cocción con agua parece facilitar la solubilidad de los pigmentos localizados en la cáscara que luego penetran en los cotiledones, dando por resultado el oscurecimiento del color de la harina. Cuando se efectúa la cocción sin la adición de agua se observa la decoloración de la harina. Este es un aspecto muy importante desde el punto de vista del consumidor que asocia la buena calidad de la sopa, con el color más oscuro. La textura más espesa de la harina se debe a la presencia de partículas secas de la cáscara que no está totalmente pulverizada. Se debe tener cuidado con la molienda, tratando de obtener un producto más homogéneo, ya que la eliminación de la cáscara hace más costoso el proceso (Elías *et al*, 1975).

Se han hecho varios estudios relativos al efecto de este procesamiento sobre el valor nutritivo del frijol. Los resultados prueban que un tiempo de cocción mayor de 30 minutos a 121 grados centígrados y a 16 libras de presión, sin un remojo previo, disminuye el valor nutritivo de las proteínas. Esta disminución se debe, en parte, a la menor disponibilidad de lisina, uno de los aminoácidos esenciales. El tiempo óptimo de cocción para las muestras sin remojo varía entre 20 a 30 minutos. En cambio, en las muestras remojadas hubo una reducción en el valor nutritivo cuando el tiempo de cocción fue superior a los 10 minutos (Elías *et al*, 1975).

Por medio del análisis estadístico se ha constatado diferencias significativas entre muestras sometidas a 16 y 24 horas de remojo, y otras cocidas por 20 y 30 minutos. Por consiguiente, las condiciones de remojo, cocción y molienda tienen que ser controladas para obtener un producto aceptable desde el punto de vista organoléptico y nutricional (Elías *et al*, 1975).

F. Efecto de la germinación

La germinación y la fermentación de las leguminosas de grano –prácticas no comunes en América Latina- incrementan el contenido de vitaminas y reducen factores de flatulencia así como el contenido de ácido fítico (Bressani, 2002). Sin embargo, pocos estudios se han llevado a cabo acerca del valor nutricional de las semillas de las leguminosas durante distintos etapas fisiológicas de las semillas en la maduración y germinación (Elías *et al*, 1973).

Se han reportado resultados contradictorios en lo que al proceso de germinación se refiere. Algunos investigadores han encontrado un incremento en el valor nutritivo durante la germinación, otros indicaron que no hubo cambio o decremento, mientras que aún en otros estudios los resultados no fueron concluyentes (Elías *et al*, 1973).

La mayoría de la investigación con respecto al valor nutricional de las leguminosas se ha llevado a cabo en semillas maduras, probablemente porque éste es el estado de mayor consumo. En general, los resultados han indicado que las semillas de las leguminosas son relativamente de poco valor nutricional, el cual ha sido atribuido a la presencia de factores antinutricionales, susceptibles al calor –los cuales incluyen inhibidores de tripsina,

hemaglutininas y otros- en su deficiencia en aminoácidos azufrados, y su baja digestibilidad proteica. A pesar de estos hallazgos, varios investigadores han encontrado diferencias en el valor nutritivo entre especies, así como entre variedades o cultivares de las mismas especies, que no han sido elucidados (Elías *et al*, 1973).

Durante la germinación se da un incremento en el contenido de agua, y una disminución de la cantidad de proteína, grasa, fibra cruda y cenizas. Asimismo, hay un incremento en la cantidad de aminoácidos libres, mientras que la cantidad de lisina y aminoácidos azufrados disminuyen aproximadamente en la misma medida durante la germinación. Por otro lado, el porcentaje de supervivencia de ratas se incrementa de 30% a aproximadamente 60%, indicando un menor contenido de factores tóxicos mientras progresa la germinación (Elías *et al*, 1973).

Estudios indican que los primeros cuatro días son caracterizados por una fase marcada de degradación proteica, seguida por una etapa pronunciada de síntesis de nuevas proteínas, alcanzando su nivel máximo aproximadamente el 8° día luego de iniciada la germinación. Asimismo, se han reportado la presencia de inhibidores de tripsina en todas las partes de las semillas en germinación en todas las etapas del crecimiento, así como una disminución en los cotiledones y un incremento de los brotes con el progreso de la germinación (Elías *et al*, 1973).

La disminución del valor nutritivo durante la germinación, puede ser explicada por una disminución en el contenido total de aminoácidos azufrados, debido a que éstos son los aminoácidos más limitados en la proteína del frijol (Elías *et al*, 1973).

G. Digestibilidad y flatulencia

Es bien sabido que los frijoles (*Phaseolus vulgaris*) causan flatulencia en humanos. Sin embargo, todavía no se ha establecido cuál puede ser la causa de la flatulencia. Al principio el dióxido de carbono de la flatulencia se pensaba que era originado por el bicarbonato del fluido pancreático. Investigaciones posteriores en las cuales se utilizaron una mezcla de drogas antimicrobianas, indicaron, sin embargo, que la producción de gas por los frijoles *in vivo* e *in vitro* podía ser ampliamente inhibida. Este resultado es solo compatible con la visión que un proceso microbiano de producción de gas en el intestino está envuelto (Hellendoorn, 1973).

El dióxido de carbono no es el único componente de las flatulencias. El dióxido de carbono y el hidrógeno están siempre presentes; en algunos sujetos el dióxido de carbono prevalece, en otros el hidrógeno; el metano puede estar completamente ausente (Hellendoorn, 1973).

Los estudios muestran que cada individuo puede reaccionar a una porción de frijoles con formación de gas en una forma más o menos diferente. El dióxido de carbono y el hidrógeno son formados predominantemente por organismos anaeróbicos en la región ileocecal; el metano es más bien un producto de organismos aeróbicos en el colon. El nitrógeno y el oxígeno se originan del aire tragado. Aún más está demostrado que el pico de producción de gas aparece 5 ó 6 horas luego del consumo de la porción de frijoles (Hellendoorn, 1973).

H. Variedades de frijol utilizadas en el estudio

En nuestro país el frijol se cultiva en regiones situadas entre 50 y 2300 metros sobre el nivel del mar. Las condiciones de clima y suelo existentes en este estrato de producción, presentan variaciones muy amplias, y consecuentemente, problemas de

producción muy diferentes, que previamente es necesario identificar y resolver para asegurar el éxito de cultivo (ICTA, 1996).

El Programa de Producción de Frijol del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ICTA, ha identificado los factores más importantes que limitan la producción de frijol en las diferentes regiones productoras en nuestro país (ICTA, 1996).

A continuación se describen las características agronómicas de dos nuevas variedades de frijol negro, que se adaptan muy bien a localidades del altiplano media de Guatemala, situadas entre 1600 y 2,300 metros de altitud sobre el nivel del mar. En este estrato de producción prevalecen condiciones climáticas que favorecen el desarrollo de enfermedades, plagas y malezas que inciden negativamente en el rendimiento. Entre las enfermedades fungosas más importantes, tenemos la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), mancha de *Ascochyta* (*Ascochyta* sp.) y roya (*Uromyces phaseoli*) y entre las plagas que dañan al frijol, tenemos al picudo de la vaina, conchuela mexicana y de insectos que pertenecen a las familias de Crisomelidos, Empoasca y otros (ICTA, 1996).

Los agricultores que se dedican al cultivo del frijol podrán reemplazar con ventaja las variedades criollas que, además de poseer una arquitectura defectuosa, son susceptibles a plagas y enfermedades, y, de bajo rendimiento (ICTA, 1996).

Estas dos variedades fueron desarrolladas por el programa de Frijol del ICTA, con la colaboración del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, dentro de las actividades del Programa Cooperativo Regional de Frijol para Centroamérica, México Y El Caribe PROFRIJOL (ICTA, 1996).

1. *ICTA Altense*. Esta variedad tuvo su origen, inicialmente, en el cruzamiento entre A 230, un material proveniente del CIAT, con un material del programa de Frijol del ICTA, Guate. 1992, con tolerancia a *Ascochyta*; la crusa fue registrada bajo el código C88. En 1983, se efectuó un cruzamiento entre C88 y la línea A 175 del CIAT, dando origen a una crusa triple C 160. En 1984, se seleccionó una línea entre la población C 160, la cual después de haberse evaluado por varios años en Ensayos de Finca y Parcelas de prueba fue finalmente liberada como ICTA ALTENSE (ICTA, 1996).

2. *Características agronómicas*. Es una variedad de frijol negro, cuyo hábito de crecimiento es de tipo indeterminado arbustivo; es bastante tolerante a *Ascochyta*, antracnosis, roya y picudo de la vaina. Se adapta muy bien a altitudes entre 1800 y 2300 metros sobre el nivel del mar. La nacencia completa y la florescencia de color morado, tienen lugar a los ocho y 50-53 días después de la siembra, DDS, respectivamente (ICTA, 1996).

Las plantas alcanzan una altura de 60 a 70 centímetros, con vainas color crema con tonalidades ligeras de color morado que tienen 6 granos por vaina. El ciclo de siembra a cosecha es de 120 DDS con un rendimiento de 2500 kg por hectárea (38.5 qq/manzana) (ICTA, 1996).

3. *ICTA Hunapú*. Esta variedad proviene de un cruzamiento de una variedad de frijol negro, precoz, originaria de Chimaltenango, y que se conoce como Negro Pacoc, con la línea A 216, del CIAT. Además de ser tolerante a roya, *Ascochyta* y antracnosis, tiene plantas bien formadas, de buena altura, ramas espaciadas y las vainas convenientemente distribuidas; es decir, es una variedad que presenta una buena arquitectura de planta (ICTA, 1996).

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 HUNAPU (ICTA, 1996).

Tabla No. 4 Reacción a las enfermedades y plagas de mayor importancia económica (ICTA, 1996)

LIMITANTE	ICTA-Altense	ICTA-Hunapú
Mancha de Ascochyta	Tolerante	Tolerante
Antracnosis	Tolerante	Tolerante
Roya	Tolerante	Tolerante
Picudo de la Vaina	Tolerante	Tolerante

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Localización:

El estudio se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad del Valle de Guatemala.

B. Material experimental básico:

El estudio se llevó a cabo utilizando frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*), el cual fue donado por el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA, cultivado en el altiplano medio de Guatemala, entre 1,600 y 2,300 msnm.

C. Procedimiento:

El estudio se llevó a cabo en tres partes:

PRIMERA PARTE: Análisis físicos de las 20 variedades de frijol sin germinar

Análisis	Método a utilizar
Peso de grano	Elías <i>et al</i> , 1986
Tamaño de grano	Elías <i>et al</i> , 1986
Tiempo de cocción	Elías <i>et al</i> , 1986
Porcentaje de cáscara	Elías <i>et al</i> , 1986
Absorción de agua	Elías <i>et al</i> , 1986

SEGUNDA PARTE: Análisis Químico Proximal de las 20 variedades frijol sin germinar.

Análisis	Método a utilizar
Humedad	14.003 de la AOAC (1984)
Proteína	Método de Kjeldahl en donde el nitrógeno obtenido se multiplica por 6.25 del AOAC (1984).
Cenizas	14.006 de la AOAC (1984).
Ácido Fólico	Sotelo <i>et al</i> (2002)
Hierro Soluble	Mazariegos (1998)

TERCERA PARTE: Efecto de la germinación

Durante esta etapa, se germinaron 4 variedades de frijol (las variedades 4, 8, 19 y 20) a partir del procedimiento descrito por Colmenares & Bressani (1990). La germinación se llevó a cabo durante 7 días.

Posteriormente, se llevaron a cabo los siguientes análisis:

Análisis	Método a utilizar
Ácido Fólico	Sotelo <i>et al</i> (2002)
Proteína	Método de Kjeldahl en donde el nitrógeno obtenido se multiplica por 6.25 del AOAC (1984).
Tiempo de cocción	Elías <i>et al</i> (1986)
Hierro Soluble	Mazariegos (1998)

VII. RESULTADOS

Tabla No. 5 Peso del grano promedio y volumen de grano promedio de las 20 variedades de frijol sin germinar

Variedad #	Peso grano promedio (g)	Desviación Estándar	Volumen grano promedio cm ³	Desviación Estándar
1	0.242	± 0.181	0.200	± 0.471
2	0.231	± 0.117	0.220	± 0.422
3	0.254	± 0.120	0.190	± 0.316
4	0.258	± 0.153	0.220	± 0.422
5	0.260	± 0.074	0.210	± 0.568
6	0.291	± 0.135	0.150	± 0.527
7	0.190	± 0.093	0.170	± 0.675
8	0.198	± 0.124	0.150	± 0.527
9	0.208	± 0.071	0.170	± 0.483
10	0.267	± 0.107	0.210	± 0.316
11	0.218	± 0.081	0.180	± 0.350
12	0.244	± 0.082	0.200	± 0.000
13	0.201	± 0.100	0.210	± 0.568
14	0.244	± 0.122	0.200	± 0.667
15	0.251	± 0.103	0.210	± 0.568
16	0.283	± 0.104	0.210	± 0.316
17	0.193	± 0.110	0.150	± 0.527
18	0.290	± 0.389	0.220	± 0.422
19	0.312	± 0.111	0.250	± 0.527
20	0.288	± 0.235	0.230	± 0.823

Tabla No. 6 Porcentaje de absorción de agua, porcentaje de cáscara y tiempo de cocción de las 20 variedades de frijol sin germinar

Variedad #	% de Absorción de agua	Desviación Estándar	% de Cáscara	Desviación Estándar	Tiempo de cocción (hr:min)
1	19%	± 0.036	8.13%	± 0.02	01:30
2	70%	± 0.061	9.54%	± 0.02	02:30
3	12%	± 0.021	8.32%	± 0.02	02:00
4	84%	± 0.001	8.13%	± 0.01	01:30
5	69%	± 0.114	8.12%	± 0.02	02:30
6	19%	± 0.028	8.05%	± 0.02	01:30
7	16%	± 0.091	9.85%	± 0.02	01:00
8	3%	± 0.004	8.52%	± 0.02	01:00
9	2%	± 0.013	9.47%	± 0.02	02:00
10	48%	± 0.070	8.64%	± 0.03	01:30
11	9%	± 0.065	9.20%	± 0.02	01:20
12	9%	± 0.052	8.84%	± 0.02	01:30
13	22%	± 0.153	9.19%	± 0.02	02:00
14	82%	± 0.024	8.53%	± 0.02	01:30
15	27%	± 0.018	9.64%	± 0.02	01:30
16	71%	± 0.029	7.84%	± 0.02	01:30
17	22%	± 0.050	9.01%	± 0.02	01:30
18	62%	± 0.173	7.93%	± 0.02	01:00
19	0.20%	± 0.0003	7.90%	± 0.02	02:30
20	0.99%	± 0.011	7.66%	± 0.02	02:30

Tabla No. 7 Porcentaje de humedad y de cenizas de las 20 variedades de frijol sin germinar

Variedad #	% Humedad	Desviación Estándar	% Cenizas	Desviación Estándar
1	10.65%	± 0.01	2.85%	± 0.002
2	11.75%	± 0.01	3.11%	± 0.001
3	10.85%	± 0.02	3.34%	± 0.002
4	12.44%	± 0.02	3.13%	± 0.002
5	9.74%	± 0.01	3.00%	± 0.002
6	9.27%	± 0.01	3.04%	± 0.001
7	10.14%	± 0.01	3.40%	± 0.001
8	10.23%	± 0.02	3.40%	± 0.001
9	10.95%	± 0.02	3.43%	± 0.001
10	9.74%	± 0.01	3.21%	± 0.001
11	10.36%	± 0.00	3.24%	± 0.002
12	10.18%	± 0.01	3.45%	± 0.001
13	11.60%	± 0.02	3.52%	± 0.001
14	10.79%	± 0.00	3.27%	± 0.002
15	10.58%	± 0.00	3.45%	± 0.000
16	10.89%	± 0.01	2.90%	± 0.001
17	11.31%	± 0.01	4.18%	± 0.002
18	10.78%	± 0.02	3.05%	± 0.001
19	11.70%	± 0.00	3.55%	± 0.002
20	10.39%	± 0.00	2.66%	± 0.001

Tabla No. 8 Porcentaje de proteína, hierro soluble y ácido fólico de las 20 variedades de frijol sin germinar

Variedad #	% Proteína		Desviación Estándar		Hierro soluble (mg/100g)		Desviación Estándar		Ácido Fólico (mg/100g)		Desviación Estándar	
1	23.78%	±	0.01		5.09	±	0.151		0.25	±	0.041	
2	25.74%	±	0.01		2.13	±	0.050		0.28	±	0.048	
3	24.90%	±	0.01		2.73	±	0.098		0.18	±	0.054	
4	30.58%	±	0.01		3.55	±	0.164		0.36	±	0.054	
5	23.42%	±	0.01		1.99	±	0.179		0.19	±	0.039	
6	26.76%	±	0.01		6.95	±	0.184		0.43	±	0.037	
7	27.05%	±	0.01		4.40	±	0.136		0.27	±	0.041	
8	23.53%	±	0.01		4.19	±	0.161		0.30	±	0.008	
9	26.71%	±	0.02		5.20	±	0.155		0.30	±	0.037	
10	24.43%	±	0.01		7.89	±	0.185		0.34	±	0.030	
11	26.22%	±	0.01		2.25	±	0.139		0.35	±	0.041	
12	25.28%	±	0.01		1.57	±	0.059		0.30	±	0.052	
13	23.80%	±	0.02		2.13	±	0.149		0.39	±	0.027	
14	25.08%	±	0.01		2.85	±	0.113		0.40	±	0.043	
15	22.74%	±	0.02		4.87	±	0.115		0.49	±	0.067	
16	25.10%	±	0.01		3.62	±	0.135		0.36	±	0.048	
17	28.56%	±	0.01		2.21	±	0.184		0.28	±	0.045	
18	28.05%	±	0.01		1.37	±	0.101		0.21	±	0.026	
19	23.31%	±	0.01		2.55	±	0.066		0.24	±	0.038	
20	20.03%	±	0.01		6.20	±	0.119		0.33	±	0.064	

Tabla No. 9 Porcentaje de proteína, Hierro soluble y ácido fólico de las 4 variedades de frijol germinadas

Variedad No.	% Proteína		Desviación Estándar		Hierro soluble (mg/100g)		Desviación Estándar		Ácido Fólico (mg/100g)		Desviación Estándar	
4	36.61%	±	0.0125		2.33	±	0.060		0.40	±	0.0250	
8	26.23%	±	0.0105		2.86	±	0.207		0.29	±	0.0224	
19	25.63%	±	0.0140		3.01	±	0.052		0.27	±	0.0211	
20	22.04%	±	0.0191		3.84	±	0.093		0.29	±	0.0901	

Tabla No. 10 Comparación del porcentaje de proteína, hierro soluble, ácido fítico y tiempo de cocción de las 4 variedades de frijol antes y después de la germinación

Variedad No.	ANTES			DESPUÉS			ANTES			DESPUÉS		
	% Proteína	Desviación Estándar		% Proteína	Desviación Estándar		Hierro soluble (mg/100g)	Desviación Estándar		Hierro soluble (mg/100g)	Desviación Estándar	
4	30.58%	± 0.0152		36.61%	± 0.0125		3.55	± 0.1642		2.33	± 0.060	
8	23.53%	± 0.0152		26.23%	± 0.0105		4.19	± 0.1610		2.86	± 0.207	
19	23.31%	± 0.0133		25.63%	± 0.0140		2.55	± 0.0658		3.01	± 0.052	
20	20.03%	± 0.0109		22.04%	± 0.0191		6.20	± 0.1191		3.84	± 0.093	

Variedad No.	ANTES			DESPUÉS			ANTES			DESPUÉS		
	Ácido Fítico (mg/100g)	Desviación Estándar		Ácido Fítico (mg/100g)	Desviación Estándar		Tiempo de cocción	Desviación Estándar		Tiempo de cocción	Desviación Estándar	
4	0.36	± 0.0073		0.40	± 0.0250		01:30	± 0.0074		01:30	± 0.0074	
8	0.30	± 0.0055		0.29	± 0.0224		01:00	± 0.0147		01:00	± 0.0074	
19	0.24	± 0.0070		0.27	± 0.0211		02:30	± 0.0000		01:30	± 0.0000	
20	0.33	± 0.0088		0.29	± 0.0901		02:30	± 0.0147		01:00	± 0.0074	

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este estudio se utilizaron 20 variedades distintas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*), de las cuales 15 son variedades bio-fortificadas (ver Tabla No. A.1). De las 20 variedades se realizó una caracterización fisicoquímica, a partir de la cual se escogieron 4 variedades, que fueron las variedades a germinar (variedad 4, 8, 19 y 20) y de las cuales se evaluó el efecto de la germinación en el contenido de ácido fítico, hierro soluble, tiempo de cocción y porcentaje de proteína.

La caracterización física incluyó: peso de grano, volumen de grano, porcentaje de absorción de agua, porcentaje de cáscara y tiempo de cocción. El peso de grano promedio varió entre 0.190 y 0.312 g, siendo la variedad 7 y la variedad 19 las de menor y mayor peso, respectivamente (ver Tabla No.5 y Gráfica No.1). Tal y como se puede observar en los resultados, la mayor parte de las variedades poseen un grano grande (mayor de 0.217 g), mientras que únicamente las variedades 8, 9 y 13 poseen un grano mediano (de 0.193 a 0.217 g) y las variedades 7 y 17 tienen un grano pequeño (menor de 0.193 g). Por otro lado, el volumen de grano promedio varió entre 0.150 y 0.250 cm³, siendo las variedades 8 y 19 la más pequeña y la más grande respectivamente (ver Tabla No. 5 y Gráfica No.2). La mayoría de las variedades poseen granos grandes (mayor a 0.2010 cm³), excepto por las variedades 9, 13, 14 y 17 que poseen granos medianos (entre 0.1919 y 0.2010 cm³), y las variedades 7 y 8 que poseen granos pequeños (menor de 0.1919 cm³). Tal y como puede observarse en los resultados de peso y volumen promedio de las 20 variedades, en ambas características se coincide en que la variedad 19 es la más grande en cuanto a peso y en cuanto a volumen, mientras que respecto a peso la variedad más pequeña es la número 7 y en cuanto a volumen es la número 8. Esta diferencia en cuanto a la variedad más pequeña probablemente se deba a deficiencias en la fase de llenado del grano. Hay que tomar en cuenta que, tanto el peso como el volumen del grano está influenciado por la variedad en cuestión y al mismo tiempo también tienen una relación con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante la fase de llenado del grano siendo afectado también por estreses hídricos y nutricionales. De acuerdo al análisis de varianza (Tablas A.2 y A.3) llevado a cabo para las características de peso y volumen promedio de grano se determinó que las 20 variedades estudiadas son significativamente diferentes en cuanto a estos dos parámetros.

En cuanto al porcentaje de absorción de agua de las 20 variedades (ver Tabla No. 6 y Gráfica No. 3), hay que destacar que las diferencias fueron significativas, tomando en cuenta que la absorción varió entre 0.20 y 84%, siendo la variedad 19 la que menos absorbió y la variedad 4 la que más absorbió agua (ver Tabla No.6 y Gráfica No.3). De acuerdo a los resultados obtenidos, la mayoría de variedades se pueden clasificar como un tipo de frijol de cáscara dura (menos de 80% de absorción de agua) y únicamente las variedades 4 y 14 se pueden catalogar como variedades de un tipo de frijol de cáscara suave (mayor de 81% de absorción de agua). La variación en el contenido de agua es debida a dos factores fundamentales: el tamaño del hilio (cicatriz donde el frijol se encontraba unido a la vaina) y el tipo de variedad analizada. Tal y como puede observarse en la Tabla No. 6 y Gráfica No. 3, las variedades que presentaron una menor absorción de agua fueron las variedades 19 y 20, o sea las variedades de tipo Boluble (ver Tabla No. A.1), las cuales al observarlas detenidamente es posible evidenciar que poseen un hilio sumamente pequeño en comparación con las variedades restantes y al mismo tiempo poseen una capa de cera que las vuelven visiblemente más lustrosas y volviendo a los granos hidrofóbicos. Ahora bien, al comparar la variedad 19 (la que menos absorbió) con la variedad 4 (la que más absorbió) es posible notar diferencias palpables, tales como: la variedad 4 presenta un tamaño de hilio de aproximadamente el doble de diámetro y un recubrimiento del cotiledón más bien opaco. La absorción de agua es un parámetro importante, debido a que en Guatemala al igual que la mayor parte de los países de

América Latina la población acostumbra remojar el frijol previo a su cocción a presión atmosférica. La cantidad de agua absorbida por el frijol determinará el tiempo de cocción del mismo y la cantidad de combustible utilizado para tal efecto, por supuesto que la temperatura del agua de remojo es una variable importante, pues a temperaturas de remojo mayor de 60 ° aumentan las pérdidas de calcio, magnesio, tiamina, riboflavina y niacina en los frijoles. Según el análisis de varianza llevado a cabo en las 20 variedades de frijol para el porcentaje de absorción de agua (Tabla A.4) se determinó que todas las variedades son significativamente diferentes.

El porcentaje de cáscara en las 20 variedades de frijol analizadas varió entre 7.66 y 9.85%, siendo la variedad 20 y la variedad 7 las que presentaron menor y mayor porcentaje de cáscara de todas, respectivamente (ver Tabla No.6 y Gráfica No. 4). Las variedades que presentaron un porcentaje de cáscara bajo (menor de 8%) fueron las variedades 16, 18, 19 y 20, mientras que el resto de variedades presentaron un porcentaje de cáscara intermedio (entre 8 y 10%). A partir del análisis de varianza del porcentaje de cáscara (Tabla A.5) llevado a cabo en las 20 variedades, se determinó que no existen diferencias significativas entre variedades, en relación a esta característica.

Los resultados del tiempo de cocción muestran fluctuaciones entre 1 y 2 horas y media, siendo las variedades 7,8 y 18 las variedades que necesitaron menos tiempo de cocción (1 hora), mientras que las variedades 2, 19 y 20 fueron las que necesitaron un tiempo de cocción más prolongado (2 horas y media) (ver Tabla No. 6 y Gráfica No. 5). Tal y como lo evidencian los resultados, ninguna de las 20 variedades de frijol analizadas pertenecen al tipo de frijol clasificado como duro (frijoles con más de 150 minutos de cocción a presión atmosférica). Sin embargo, sí existen diferencias significativas entre las 20 variedades en cuanto al tiempo de cocción, esto como consecuencia de las diferencias intrínsecas de las distintas variedades, así como también diferencias en las condiciones de almacenamiento (temperatura y período de almacenamiento), ya que no todas las variedades fueron cosechadas al mismo tiempo, a pesar que todas las variedades fueron cocinadas en las mismas condiciones. Otro factor importante en términos de tiempo de cocción que hay que considerar es la humedad del grano, sin embargo, en este caso no es un factor determinante pues tal y como puede observarse en la Tabla No. 7 y Gráfica No. 6, ninguna variedad presentaba un porcentaje de humedad mayor al 13 por ciento, lo que nos asegura que el tiempo de cocción no se ve afectado por éste parámetro. Según el análisis de varianza del tiempo de cocción (Tabla A.6) llevado a cabo en las 20 variedades, se pudo establecer que los tiempos de cocción entre variedades eran significativamente distintos.

Tal y como puede observarse en los resultados discutidos anteriormente, existen variedades que saltan a la vista pues se encuentran en los extremos de los parámetros físicos discutidos. Tal es el caso de la variedad 19 que se encuentra en los extremos de 4 de los 5 parámetros, la variedad 20 en 2 de 5, al igual que la variedad 8, posteriormente discutiremos las implicaciones de esto. A continuación se discutirán los resultados obtenidos en los análisis químicos llevados a cabo a las 20 variedades estudiadas. Estos comprenden: porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, porcentaje de proteína, contenido de hierro soluble y contenido de ácido fítico.

El contenido de humedad de las 20 variedades estudiadas varió entre 9.27 y 12.44%, siendo la variedad 6 y 4 la de menor y mayor humedad, respectivamente (ver Tabla No. 7 y Gráfica No. 6). Es claro que el contenido de humedad es un factor crítico en el frijol, tanto para su almacenamiento como para su cocción, ya que un frijol almacenado a altas temperaturas y humedades desarrollará el defecto de "hard- to- cook", aumentando su tiempo de cocción considerablemente, con respecto a un frijol almacenado en las condiciones apropiadas. Ahora

bien, con respecto al contenido de humedad ideal en el frijol, algunos autores afirman que con tal de que sea menor al 13% el tiempo de cocción no se afecta, independiente del tiempo de almacenamiento y la temperatura (Elías et al, 1975). A la luz de estas afirmaciones podemos decir que todas las variedades estudiadas poseen un contenido de humedad ideal, claro está que el tiempo de cocción también está definido por otros parámetros, tales como: la presión alcanzada durante el proceso, la dureza del agua, etc. Es importante mencionar, que una práctica común entre las amas de casa, previo a la cocción del frijol, es remojar el frijol durante toda la noche con el objetivo de aumentar la humedad del frijol y así reducir el tiempo de cocción del mismo, proceso que comúnmente se lleva a cabo a presión atmosférica, por lo que suele ser un proceso largo y con un alto consumo de combustible. A la luz del análisis de varianza efectuado al porcentaje de humedad de las 20 variedades (Tabla A.7), se determinó que no existían diferencias significativas en cuanto al porcentaje de humedad entre las variedades.

El porcentaje de cenizas en las 20 variedades analizadas fluctuó entre 2.66 y 4.18%, donde la variedad 20 y la 17 fueron las que presentaron un menor y mayor contenido de cenizas, respectivamente (ver Tabla No. 7 y Gráfica No. 7). Evidentemente, las variaciones en el contenido de cenizas entre una y otra variedad, es debida precisamente a eso, a las diferencias inherentes a cada una de ellas. El contenido de cenizas es una característica de gran importancia pues nos indica el contenido de minerales presente en cada variedad, lo cual nos da un indicativo de los posibles alcances o usos para cada variedad, ya que el frijol (al igual que otras leguminosas) es considerado una de las fuentes más importantes en América Latina. Al observar los resultados del análisis de varianza del porcentaje de cenizas de las 20 variedades estudiadas (Tabla A.8) se determinó que eran significativamente distintas en lo que a este parámetro se refiere.

Otra característica importante es el porcentaje de proteína de cada variedad (Ver Tabla No. 8 y Gráfica No. 8). Éste varió entre 20.03 y 30.58%, siendo la variedad 20 la que presentó un menor contenido de proteína, mientras que la variedad 4 fue la que presentó el más alto contenido de proteína. Estos valores proteicos son bastante atractivos, comparados con el contenido de proteína de otras leguminosas, como por ejemplo el garbanzo, el cual tiene un porcentaje de proteína de 18.2 (Menchú *et al*, 1996). Sin embargo, es de conocimiento común que la proteína del frijol es de un pobre valor nutricional por ser deficiente en aminoácidos azufrados y triptófano, pero que puede mejorarse a través del procesamiento tales como procesos térmicos, germinación, etc. A lo largo del estudio evaluaremos el efecto producido por la germinación en el contenido de proteína en las distintas variedades estudiadas. Tal y como es notorio en la Tabla A.9, el análisis de varianza de esta característica arroja que las 20 variedades son significativamente diferentes en cuanto el porcentaje de proteína antes de su germinación.

El contenido de hierro soluble evaluado en las 20 variedades estudiadas arrojó valores entre 1.37 y 7.89 mg/100g de porción comestible, donde las variedades con menor y mayor contenido de hierro soluble fueron la variedad 18 y la variedad 10, respectivamente (Ver Tabla No. 8 y Gráfica No. 9). Este rango tan amplio entre las variedades es producto de la amplia gama de tipos de frijoles que se analizaron en este estudio. El contenido de hierro soluble es particularmente trascendental, ya que a diferencia del contenido de hierro total, el hierro soluble es un indicativo certero de la cantidad de hierro libre (no ligado) contenido en cada una de las variedades estudiadas. En este sentido, no hay que perder de vista el problema nutricional que representa la anemia por deficiencia de hierro en muchas partes del mundo, y nuestros países no son la excepción. El análisis de varianza del contenido de hierro soluble en las 20 variedades (Tabla A.10) es concluyente, por lo que se puede afirmar que las variedades son significativamente diferentes en cuanto a esta característica.

Finalmente, se llevó a cabo el análisis del contenido de ácido fítico o ácido mioinositol hexafosfórico (IP₆) en las 20 variedades de frijol sin germinar (Ver Tabla No. 8 y Gráfica No. 10). Se encontró que el contenido de ácido fítico varió entre 0.18 y 0.48 mg/100g de porción comestible. Siendo el ácido fítico un factor anti-nutricional (capaz de disminuir la disponibilidad de los nutrimentos indispensables) es de capital importancia conocer su participación en cada una de las variedades estudiadas, ya que éste tiene la capacidad de reducir la bio-disponibilidad de proteínas y minerales, precisamente dos características trascendentales para nuestro estudio del efecto de la germinación. Al llevar a cabo el análisis de varianza a los resultados encontrados de contenido de ácido fítico en las 20 variedades (Tabla A.11), se determinó que las variedades son significativamente diferentes en cuanto a contenido de ácido fítico.

Tal y como puede evidenciarse tanto en los resultados físicos como en los análisis químicos de las 20 variedades, las variedades que más destacan por sus propiedades fisicoquímicas son: las variedades 4, 8, 19 y 20. Si nos damos cuenta, son las variedades que más veces se repiten en los extremos de las características fisicoquímicas estudiadas, razón por la cual merecen estudiar en ellas cual podría ser el efecto de un tratamiento como la germinación de estas variedades, y evaluar así las virtudes o defectos de tal tratamiento sobre las variedades en cuestión. En este estudio se evaluó el efecto de la germinación en el contenido de hierro soluble, ácido fítico, porcentaje de proteína y tiempo de cocción de las 4 variedades mencionadas anteriormente. A continuación discutiremos los resultados obtenidos como producto de tal tratamiento. En este punto, vale la pena hacer notar que las 4 variedades germinadas (variedad 4, 8, 19 y 20) fueron sometidas al proceso de germinación en igualdad de condiciones (humedad relativa, temperatura, etc), es decir, al mismo tiempo y bajo los mismos parámetros fueron tratadas antes, durante y después de la germinación.

Como resultado de la germinación, se evidenció un aumento en el porcentaje de proteína en las cuatro variedades estudiadas (4, 8, 19 y 20). Tal y como puede observarse en la Tabla No. 10, la variedad 4 aumentó un 6.03%, la variedad 8 aumentó un 2.69%, la variedad 19 aumentó un 2.32% y la variedad 20 aumentó un 2.02% (ver Gráfica No.11), lo cual era de esperarse dado que estos resultados fueron obtenidos luego de 7 días de germinación de las semillas y se sabe que entre el 5 y el 8° día se da una etapa de síntesis de nuevas proteínas durante el proceso de la germinación (Elías et al, 1975). En promedio se dio un aumento neto de 3.26%, tomando en cuenta las 4 variedades germinadas. Al observar el análisis de varianza llevado a cabo para estos resultados (Tabla A.12) se puede observar que las 4 variedades son significativamente distintas en cuanto a porcentaje de proteína. Es importante hacer notar que éste aumento en el porcentaje de proteína por parte de las 4 variedades estudiadas se debe única y exclusivamente al proceso de la germinación, y no a desviaciones en el tratamiento de las muestras como resultado de un mal manejo de las mismas (ganancia de humedad, "lavado" de carbohidratos, etc), dado que todas las muestras (crudas y germinadas) fueron sometidas al mismo proceso previo a su análisis (eliminación de humedad, reducción del tamaño de partícula (harina), almacenamiento en un ambiente seco y protegido de la luz solar), asegurando así un tratamiento homogéneo de las muestras, tanto crudas como germinadas.

Ahora bien, con respecto al efecto de la germinación en el contenido de hierro soluble en las 4 variedades estudiadas, se puede decir que en el 75% de las variedades estudiadas hubo una disminución considerable del contenido de hierro soluble luego de la germinación (ver Tabla No. 10 y Gráfica No. 12). La variedad 4 presentó una disminución de 1.22 mg/100g de porción comestible, la variedad 8 presentó una disminución de 1.32 mg/100g de porción comestible, la variedad 19 presentó un aumento de 0.46 mg/100g de porción comestible y la variedad 20 presentó una disminución de 2.36 mg/100g de porción comestible. La disminución

en el contenido de hierro soluble luego del proceso de germinación, se puede explicar como resultado del fenómeno de la lixiviación ocurrida durante el proceso de la germinación (fenómeno que discutiremos más adelante) y que disminuye considerablemente el contenido de hierro no ligado en la semilla de frijol. Como resultado del análisis de varianza del contenido de hierro soluble en las 20 variedades (Tabla A.13) se encontró que las variedades estudiadas eran significativamente diferentes en cuanto a esta característica.

Como era de esperarse, el contenido de ácido fítico también disminuye como resultado del proceso de la germinación (sólo en el 50% de las variedades estudiadas). Las variedades 4 y 19 presentaron un aumento del contenido de ácido fítico de 0.040 y 0.032 mg/100g de porción comestible, mientras que las variedades 8 y 20 presentaron una disminución de 0.008 y 0.037 mg/100g de porción comestible como resultado de la germinación (ver Tabla No. 10 y Gráfica No. 13). Éste era sin lugar a dudas un resultado esperado, dado el aumento de la actividad de la fitasa, que cataliza la hidrólisis del ácido fítico en myo-inositol, myo-inositol fosfatos y fosfatos inorgánicos. El análisis de varianza del contenido de ácido fítico de las 4 variedades estudiadas demostró que no existe una diferencia significativa en cuanto al contenido de ácido fítico entre sí (Tabla A.14).

Por último, hubo una disminución del tiempo de cocción (en el 50% de las variedades estudiadas), tal y como se esperaba (ver Tabla No. 10 y Gráfica No. 14). Las variedades 4 y 8 no presentaron variación en cuanto al tiempo de cocción, mientras que las variedades 19 y 20 presentaron una disminución del tiempo de cocción de 1 hora y 1 hora y media respectivamente. Estas disminuciones eran de esperarse, dado que durante la germinación se da un aumento del contenido de humedad en los cotiledones, propiciando así el ablandamiento de la semilla y la consecuente gelatinización del almidón como consecuencia del proceso térmico. Tal y como puede observarse en la Tabla A.15, es notorio que no existen diferencias significativas en cuanto al tiempo de cocción en las 4 variedades germinadas.

Tal y como lo reflejan los resultados, no existe una tendencia marcada en cuanto al efecto de la germinación en estas cuatro variedades de frijol (excepto en el caso del porcentaje de proteína y el contenido de hierro soluble), dado que en algunos parámetros no hubo cambio (como el caso del tiempo de cocción) y en algunos otros el 50% de las variedades reaccionó como se esperaba y el otro 50% no. Sin embargo, si podemos concluir con certeza es que luego de 7 días de germinación, las cuatro variedades presentaron un aumento importante en el porcentaje de proteína, así como también hubo una disminución en la mayoría de las variedades (75%) del contenido de hierro soluble.

IX. CONCLUSIONES

1. El porcentaje de proteína aumentó significativamente en las cuatro variedades de frijol estudiadas, como consecuencia del proceso de germinación.
2. El contenido de hierro soluble disminuyó en la mayoría de las variedades analizadas (75%) como resultado de la germinación.
3. El contenido de ácido fítico disminuyó en las variedades 8 y 20, como consecuencia del proceso de germinación llevado a cabo.
4. El tiempo de cocción disminuyó en las variedades 19 y 20, mientras que las variedades 4 y 8 no presentaron variación en cuanto al tiempo de cocción.

X. RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo los mismos análisis fisicoquímicos (hierro soluble, ácido fítico, porcentaje de proteína y tiempo de cocción) en un número mayor de variedades, para así elucidar una tendencia concluyente sobre el efecto de la germinación en estas variedades de frijol mejorado.
2. Llevar a cabo un análisis de Digestibilidad in vitro en las variedades estudiadas, ya que aunque el frijol es una leguminosa con una baja digestibilidad, puede que un proceso como la germinación mejore su respuesta ante la digestibilidad.
3. Realizar análisis durante la germinación, es decir, en los días 1,2,3,4,5 y 6 para determinar las diferencias en respuesta a los cambios bioquímicos ocurridos en la semilla durante este proceso.

XI. LITERATURA CITADA

1. AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist*. Virginia, U.S.A. 14 Ed.
2. Akeson, W.B. & M. A. Stalerman. *A pepsin pancreatin digestibility index of protein quality evaluation*. J. Nutr., 83:257-258, 1964.
3. Bressani, R; Flores, M & Elías, L. *Aceptabilidad y valor nutricional de las plantas leguminosas de grano en la dieta humana*. Seminario sobre El potencial del frijol y de otras leguminosas de grano comestible en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1975. 272 pp.
4. Bressani, R. *Factors Influencing Nutritive Value in Food Grain Legumes: Mucuna Compared to Other Grain Legumes. Food and Feed from Mucuna: Current Uses and the Way Forward*. Proceedings of an International Workshop. Tegucigalpa, Honduras, April 26-29, 2002.
5. Colmenares, A & Bressani, R. *Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain*. Cereal Chemistry. Vol. 67, No. 6, 1990. 519-522.
6. Charley, H. *Tecnología de alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. Editorial Limusa. México. 2000. 767 pp.
7. Elías, L; Bressani, R & Flores, M. *Los problemas y los potenciales en el almacenamiento y procesamiento de las leguminosas de grano comestible en América Latina*. Seminario sobre El potencial del frijol y de otras leguminosas de grano comestible en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1975. 272 pp.
8. Elías, L; García-Soto, A & Bressani, R. *Métodos para establecer la calidad tecnológica y nutricional del frijol*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). 1986. Guatemala. 41 pp.
9. Elías, L; Conde, A; Muñoz, A & Bressani, R. *Effect of germination and maturation on the nutritive value of common beans (Phaseolus vulgaris)*. Nutritional aspects of common beans and other legume seeds as animal and human foods. Venezuela. 1975. 325 pp.
10. Gispert, C. *Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería*. España. 2003. 1032 pp.
11. Hellendoorn, E. *Carbohydrate digestibility and flatulence activity of beans*. Nutritional aspects of common beans and other legume seeds as animal and human foods. Venezuela. 1973. 325 pp.
12. Hentges, D.L; Weaver, C.M & Nielsen, S.S. *Reversibility of the Hard-to-Cook Defect in Dry Beans (Phaseolus vulgaris) and Cowpeas (Vigna unguiculata)*. Journal of Food Science. Volumen 55, No.5, 1990. pp 1474-1476.
13. ICTA. *Dos nuevas variedades de frijol negro para el altiplano de Guatemala*. Publicación técnica No. 33. Junio, 1996.

14. Jaffé, W. *Nutritional aspects of common beans and other legumes seeds as animal and human foods*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 1975. Venezuela. 325 pp.
15. MARTINEZ DOMINGUEZ, Beatriz, IBANEZ GOMEZ, M^a Victoria y RINCON LEON, Francisco. *Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, sept. 2002, vol.52, no.3, p.219-231.
16. Mazariegos, D. *Determinación espectrofotométrica cuantitativa de hierro en alimentos*. INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). Laboratorio de Química y Bioquímica. Revisión No.6. Octubre, 1998.
17. Mazza, G. *Functional foods: Biochemical & Processing Aspects*. Technomic Company. USA. 1998. 460 pp.
18. Menchú, M; Méndez, H; Barrera, M; Ortega, L. *Tabla de composición de alimentos en C.A. INCAP*. OPS. 1996. 97 pp.
19. Narasinga, B & Prabhavathi, T. *An in vitro method for predicting the bioavailability of iron from foods*. The American Journal of Clinical Nutrition. 31: January 1978, pp 169-175. USA.
20. Sotelo, A; Mendoza, J & Argote, R. *Contenido de ácido fítico en algunos alimentos crudos y procesados*. Validación de un método colorimétrico. Revista de la Sociedad Química de México, Vol. 46, Num 4 (2002) 301-306.
21. Tennant, G & Greenman, D. *Determination of iron in solutions containing iron complexes*. J. clin. Path. (1969), 22, 301-303.
22. Wolfgang, H & Lantzsch, H. *Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products*. J. Sci. Food Agric. 1983, 34, 1423-1426.

XII. ANEXO

Tabla No. A.1 Correspondencia entre el número de la variedad asignada y el nombre de la misma

Variedad #	Nombre
1	Icta Hunapú
2	Icta Texel
3	Icta Altense
4	ENS.PR.L.BIOFORT CHO 6B 104 TRA.26.(49)
5	ENS.PR.L.BIOFORT CHO 6B 103 TRA.19.(49)
6	ENS.PR.L.BIOFORT CHO 6B 114 TRA.14 (PRO)
7	ENS.PR.L.BIOFORT CHO 6B 108 TRA 38 (49)
8	ENS.PR.L.BIOFORT CHO 6B 115 TRA 18 (PRO)
9	ENS.PR.L.BIOFORT CHO 6B 106 TRA.29.(49)
10	ENS.PR.L.BIOFORT.CHO 6B 111 TRA.5.(PRO)
11	ENS.PR.L.BIOFORT.CHO 6B 109 TRA.46.(49)
12	ENS.PR.L.BIOFORT.CHO 6B 113 TRA.13.(PRO)
13	ENS.PR.L.BIOFORT.CHO 6B 110 TRA.4.(PRO)
14	ENS.PR.L.BIOFORT.CHO 6B 112 TRA.9.(PRO)
15	ENS.PR.L.BIOFORT.CHO 6B 102 TRA.7.(49)
16	ENS.PR.L.BIOFORT.CHO 6B 101 TRA.3.(49)
17	ENS.PR.LBIOFORT CHO 6B 107 TRA.35.(49)
18	ENS.PR.L.BIOFORT CHO 6B 105 TRA.27.(49)
19	BOLUBLE GUATE-1026
20	BOLUBLE GUATE-1201

Tabla No. A.2. Análisis de varianza de peso en las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	10	24.1735	2.41735	0.03282677
Variedad 2	10	23.1041	2.31041	0.0137666
Variedad 3	10	25.3753	2.53753	0.014431
Variedad 4	10	25.7695	2.57695	0.02350484
Variedad 5	10	26.0065	2.60065	0.00551274
Variedad 6	10	29.0832	2.90832	0.01833295
Variedad 7	10	19.0384	1.90384	0.00870891
Variedad 8	10	19.7677	1.97677	0.01541934
Variedad 9	10	20.8444	2.08444	0.00502029
Variedad 10	10	26.6867	2.66867	0.01147808
Variedad 11	10	21.8378	2.18378	0.00656338
Variedad 12	10	24.3657	2.43657	0.00676957
Variedad 13	10	20.1185	2.01185	0.00993899
Variedad 14	10	24.3914	2.43914	0.01485077
Variedad 15	10	25.0564	2.50564	0.01069126
Variedad 16	10	28.269	2.8269	0.01073552
Variedad 17	10	19.2977	1.92977	0.01207779
Variedad 18	10	28.9517	2.89517	0.15118887
Variedad 19	10	31.1861	3.11861	0.01237998
Variedad 20	10	28.7895	2.87895	0.05507038

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	24.86686555	19	1.308782398	59.5892424	3.46395E-67	1.644631304
Dentro de los grupos	3.953412097	180	0.021963401			
Total	28.82027765	199				

Tabla No. A.3. Análisis de varianza del volumen del grano en las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	10	20	2	0.22222222
Variedad 2	10	22	2.2	0.17777778
Variedad 3	10	19	1.9	0.10000000
Variedad 4	10	22	2.2	0.17777778
Variedad 5	10	21	2.1	0.32222222
Variedad 6	10	15	1.5	0.27777778
Variedad 7	10	17	1.7	0.45555556
Variedad 8	10	15	1.5	0.27777778
Variedad 9	10	17	1.7	0.23333333
Variedad 10	10	21	2.1	0.10000000
Variedad 11	10	18	1.8	0.12222222
Variedad 12	10	20	2	0
Variedad 13	10	21	2.1	0.32222222
Variedad 14	10	20	2	0.44444444
Variedad 15	10	21	2.1	0.32222222
Variedad 16	10	21	2.1	0.10000000
Variedad 17	10	15	1.5	0.27777778
Variedad 18	10	22	2.2	0.17777778
Variedad 19	10	25	2.5	0.27777778
Variedad 20	10	23	2.3	0.67777778

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	14.775	19	0.777631579	3.06959834	4.96911E-05	1.644631304
Dentro de los grupos	45.6	180	0.253333333			
Total	60.375	199				

Tabla No. A.4. Análisis de varianza del porcentaje de absorción de agua de las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	2	0.370609569	0.185304785	0.00130227
Variedad 2	2	1.39648986	0.69824493	0.00371397
Variedad 3	2	0.236213956	0.118106978	0.00044259
Variedad 4	2	1.681199054	0.840599527	2.9341E-07
Variedad 5	2	1.384598071	0.692299035	0.01309644
Variedad 6	2	0.384335279	0.192167639	0.00078886
Variedad 7	2	0.319035229	0.159517615	0.00833487
Variedad 8	2	0.060131806	0.030065903	2.0203E-05
Variedad 9	2	0.033388275	0.016694138	0.00017942
Variedad 10	2	0.966964024	0.483482012	0.00485758
Variedad 11	2	0.18511858	0.09255929	0.00416319
Variedad 12	2	0.183472132	0.091736066	0.00275554
Variedad 13	2	0.437378185	0.218689092	0.02334451
Variedad 14	2	1.640504564	0.820252282	0.00058331
Variedad 15	2	0.546129928	0.273064964	0.00032046
Variedad 16	2	1.415349483	0.707674741	0.00081256
Variedad 17	2	0.430728135	0.215364067	0.00248729
Variedad 18	2	1.23515416	0.61757708	0.02999871
Variedad 19	2	0.004004259	0.00200213	1.0351E-07
Variedad 20	2	0.01971415	0.009857075	0.00011973

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3.339850498	19	0.175781605	36.123756	1.69978E-11	2.137008959
Dentro de los grupos	0.097321887	20	0.004866094			
Total	3.437172385	39				

Tabla No. A.5. Análisis de varianza del porcentaje de cáscara de las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	2	0.133512127	0.066756064	0.00042376
Variedad 2	2	0.219869018	0.109934509	0.00042431
Variedad 3	2	0.142843438	0.071421719	0.00027951
Variedad 4	2	0.14614133	0.073070665	0.00013681
Variedad 5	2	0.133810956	0.066905478	0.00040929
Variedad 6	2	0.190273143	0.095136572	0.00043003
Variedad 7	2	0.167351452	0.083675726	0.00043664
Variedad 8	2	0.143111268	0.071555634	0.00037295
Variedad 9	2	0.167214471	0.083607235	0.00024674
Variedad 10	2	0.136166489	0.068083244	0.00066855
Variedad 11	2	0.161312922	0.080656461	0.00025794
Variedad 12	2	0.141680153	0.070840077	0.00061531
Variedad 13	2	0.160225226	0.080112613	0.00027908
Variedad 14	2	0.137901958	0.068950979	0.00053471
Variedad 15	2	0.160404816	0.080202408	0.00052504
Variedad 16	2	0.180377515	0.090188758	0.00027901
Variedad 17	2	0.155027856	0.077513928	0.00031822
Variedad 18	2	0.129559751	0.064779875	0.00041933
Variedad 19	2	0.130816315	0.065408158	0.00037036
Variedad 20	2	0.123522981	0.06176149	0.00044173

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.005372189	19	0.000282747	0.71860517	0.762251099	2.137008959
Dentro de los grupos	0.007869323	20	0.000393466			
Total	0.013241513	39				

Tabla No. A.6. Análisis de varianza del tiempo de cocción de las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	2	0.115	0.05729167	5.4253E-05
Variedad 2	2	0.188	0.09375000	0.00021701
Variedad 3	2	0.188	0.09375000	0.00021701
Variedad 4	2	0.115	0.05729167	5.4253E-05
Variedad 5	2	0.198	0.09895833	5.4253E-05
Variedad 6	2	0.125	0.06250000	0
Variedad 7	2	0.094	0.04687500	5.4253E-05
Variedad 8	2	0.104	0.05208333	0.00021701
Variedad 9	2	0.188	0.09375000	0.00021701
Variedad 10	2	0.115	0.05729167	5.4253E-05
Variedad 11	2	0.108	0.05381944	6.0282E-06
Variedad 12	2	0.125	0.06250000	0
Variedad 13	2	0.167	0.08333333	9.6296E-34
Variedad 14	2	0.115	0.05729167	5.4253E-05
Variedad 15	2	0.125	0.06250000	0
Variedad 16	2	0.104	0.05208333	0.00021701
Variedad 17	2	0.115	0.05729167	5.4253E-05
Variedad 18	2	0.094	0.04687500	5.4253E-05
Variedad 19	2	0.208	0.10416667	1.1748E-32
Variedad 20	2	0.188	0.09375000	0.00021701

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.014762671	19	0.000776983	8.91986888	4.67901E-06	2.137008959
Dentro de los grupos	0.001742139	20	8.7107E-05			
Total	0.01650481	39				

Tabla No. A.7. Análisis de varianza del porcentaje de humedad de las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	2	0.213070827	0.106535413	0.00013014
Variedad 2	2	0.234967073	0.117483536	0.00015132
Variedad 3	2	0.217011052	0.108505526	0.00029561
Variedad 4	2	0.248796928	0.124398464	0.00033468
Variedad 5	2	0.194846306	0.097423153	6.7912E-05
Variedad 6	2	0.185387968	0.092693984	8.126E-05
Variedad 7	2	0.202852933	0.101426467	7.8839E-05
Variedad 8	2	0.204627711	0.102313856	0.0003504
Variedad 9	2	0.219016224	0.109508112	0.00043515
Variedad 10	2	0.194865603	0.097432801	0.00014998
Variedad 11	2	0.20722918	0.10361459	5.5657E-06
Variedad 12	2	0.203574049	0.101787024	4.0153E-05
Variedad 13	2	0.232001816	0.116000908	0.00032264
Variedad 14	2	0.215784925	0.107892462	4.7568E-06
Variedad 15	2	0.211608413	0.105804206	1.3474E-06
Variedad 16	2	0.217855044	0.108927522	0.00023286
Variedad 17	2	0.226207934	0.113103967	0.00020165
Variedad 18	2	0.215515917	0.107757959	0.00025468
Variedad 19	2	0.234021778	0.117010889	2.2429E-05
Variedad 20	2	0.207875286	0.103937643	1.5074E-05

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.002269415	19	0.000119443	0.75205059	0.730808845	2.137008959
Dentro de los grupos	0.00317646	20	0.000158823			
Total	0.005445875	39				

Tabla No. A.8. Análisis de varianza del porcentaje de cenizas de las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	2	0.054436546	0.027218273	3.4757E-06
Variedad 2	2	0.06043792	0.03021896	1.689E-06
Variedad 3	2	0.064039577	0.032019789	4.0316E-06
Variedad 4	2	0.059887605	0.029943803	3.6116E-06
Variedad 5	2	0.057182158	0.028591079	3.8702E-06
Variedad 6	2	0.059142632	0.029571316	1.5184E-06
Variedad 7	2	0.066388273	0.033194136	1.2613E-06
Variedad 8	2	0.066404205	0.033202103	1.2867E-06
Variedad 9	2	0.067081693	0.033540846	1.0977E-06
Variedad 10	2	0.063152865	0.031576432	4.5398E-07
Variedad 11	2	0.062442001	0.0312221001	2.9817E-06
Variedad 12	2	0.066994025	0.033497012	1.9881E-06
Variedad 13	2	0.068491811	0.034245905	1.7895E-06
Variedad 14	2	0.063100009	0.031550005	2.645E-06
Variedad 15	2	0.068388148	0.034194074	1.7296E-07
Variedad 16	2	0.056085967	0.028042983	1.7784E-06
Variedad 17	2	0.081368447	0.040684223	2.3511E-06
Variedad 18	2	0.059153733	0.029576867	1.5378E-06
Variedad 19	2	0.06874271	0.034371355	2.7441E-06
Variedad 20	2	0.052358074	0.026179037	2.8734E-07

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.000399722	19	2.1038E-05	10.3706439	1.347E-06	2.137008959
Dentro de los grupos	4.05722E-05	20	2.02861E-06			
Total	0.000440294	39				

Tabla No. A.9. Análisis de varianza del porcentaje de proteína de las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	2	0.455129335	0.227564668	0.00021073
Variedad 2	2	0.495845972	0.247922986	0.00018137
Variedad 3	2	0.486688048	0.243344024	6.371E-05
Variedad 4	2	0.590120359	0.29506018	0.00023156
Variedad 5	2	0.45263395	0.226316975	0.00012536
Variedad 6	2	0.514375277	0.257187639	0.00021581
Variedad 7	2	0.523997238	0.261998619	0.00014445
Variedad 8	2	0.44914626	0.22457313	0.00023212
Variedad 9	2	0.512323928	0.256161964	0.00024033
Variedad 10	2	0.470690822	0.235345411	0.00016004
Variedad 11	2	0.507330981	0.253665491	0.00014674
Variedad 12	2	0.488702548	0.244351274	0.00014285
Variedad 13	2	0.451916529	0.225958264	0.0002908
Variedad 14	2	0.486705687	0.243352844	0.00011109
Variedad 15	2	0.432168421	0.216084211	0.00025467
Variedad 16	2	0.486803953	0.243401976	0.00011558
Variedad 17	2	0.554986592	0.277493296	0.000131
Variedad 18	2	0.543948804	0.271974402	0.00014704
Variedad 19	2	0.447397551	0.223698776	0.00017667
Variedad 20	2	0.38515177	0.192575885	0.00011784

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.020913514	19	0.001100711	6.39992944	6.33123E-05	2.137008959
Dentro de los grupos	0.003439761	20	0.000171988			
Total	0.024353275	39				

Tabla No. A.10. Análisis de varianza del contenido de hierro soluble en las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 1	2	9.973580621	4.986790311	0.02280834
Variedad 2	2	4.190489063	2.095244531	0.00248435
Variedad 3	2	5.318522591	2.659261295	0.00959425
Variedad 4	2	6.872145496	3.436072748	0.02694577
Variedad 5	2	3.732798811	1.866399406	0.03195362
Variedad 6	2	13.63991932	6.819959658	0.03377903
Variedad 7	2	8.61255321	4.306276605	0.01853837
Variedad 8	2	8.147690953	4.073845477	0.02592159
Variedad 9	2	10.17919412	5.089597062	0.02402303
Variedad 10	2	15.52143126	7.760715631	0.03417315
Variedad 11	2	4.296225259	2.14811263	0.01925218
Variedad 12	2	3.063569246	1.531784623	0.00349191
Variedad 13	2	4.050701867	2.025350933	0.02219764
Variedad 14	2	5.53984106	2.76992053	0.01277458
Variedad 15	2	9.583087958	4.791543979	0.01329884
Variedad 16	2	7.050295785	3.525147892	0.01810624
Variedad 17	2	4.160474012	2.080237006	0.03392336
Variedad 18	2	2.602145394	1.301072697	0.01010266
Variedad 19	2	5.01307129	2.506535645	0.00433113
Variedad 20	2	12.22839194	6.114195972	0.01417792

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	129.634096	19	6.822847158	357.331291	2.99154E-21	2.137008959
Dentro de los grupos	0.381877957	20	0.019093898			
Total	130.015974	39				

Tabla No. A.11. Análisis de varianza del contenido de ácido fítico en las 20 variedades de frijol sin germinar

RESUMEN					
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	
Variedad 1	2	0.56210084	0.28105042	0.00167616	
Variedad 2	2	0.632352941	0.316176471	0.00228806	
Variedad 3	2	0.443961225	0.221980612	0.00289095	
Variedad 4	2	0.715949931	0.357974966	0.00286478	
Variedad 5	2	0.444353401	0.222176701	0.00154827	
Variedad 6	2	0.90697274	0.45348637	0.00140595	
Variedad 7	2	0.60140475	0.300702375	0.0017167	
Variedad 8	2	0.60179745	0.300898725	6.3239E-05	
Variedad 9	2	0.648168854	0.324084427	0.00134323	
Variedad 10	2	0.717254902	0.358627451	0.00091357	
Variedad 11	2	0.762487816	0.381243908	0.00165383	
Variedad 12	2	0.666080301	0.33304015	0.00273206	
Variedad 13	2	0.821786903	0.410893452	0.00073012	
Variedad 14	2	0.859024126	0.429512063	0.00185903	
Variedad 15	2	1.065374478	0.532687239	0.00447699	
Variedad 16	2	0.791549498	0.395774749	0.00234274	
Variedad 17	2	0.616156264	0.308078132	0.00203801	
Variedad 18	2	0.463070623	0.231535311	0.00068189	
Variedad 19	2	0.470955643	0.235477821	0.00145066	
Variedad 20	2	0.652382854	0.326191427	0.00403382	

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.254696065	19	0.013405056	6.92587728	3.47231E-05	2.137008959
Dentro de los grupos	0.038710059	20	0.001935503			
Total	0.293406124	39				

Tabla No. A.12. Análisis de varianza del porcentaje de proteína de las 4 variedades de frijol germinadas

RESUMEN					
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	
Variedad 4	2	0.7146085	0.35730425	0.00015503	
Variedad 8	2	0.509690753	0.254845377	0.00011087	
Variedad 19	2	0.492664603	0.246332301	0.0001973	
Variedad 20	2	0.41381226	0.20690613	0.00036483	

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.024678628	3	0.008226209	39.7387388	0.001954479	6.591382117
Dentro de los grupos	0.000828029	4	0.000207007			
Total	0.025506657	7				

Tabla No. A.13. Análisis de varianza del contenido de hierro soluble en las 4 variedades de frijol germinadas

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 4	2	4.584783688	2.292391844	0.00359414
Variedad 8	2	5.432982799	2.7164914	0.04291946
Variedad 19	2	5.952990059	2.976495029	0.00266377
Variedad 20	2	7.551843129	3.775921564	0.00869131

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2.338897489	3	0.779632496	53.8897751	0.001084205	6.591382117
Dentro de los grupos	0.057868677	4	0.014467169			
Total	2.396766166	7				

Tabla No. A.14. Análisis de varianza del contenido de ácido fítico en las 4 variedades de frijol germinadas

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 4	2	0.795810274	0.397905137	0.00062589
Variedad 8	2	0.585414137	0.292707068	0.00050073
Variedad 19	2	0.534531365	0.267265682	0.00044529
Variedad 20	2	0.578242552	0.289121276	0.0081198

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.020552509	3	0.006850836	2.82750744	0.170544908	6.591382117
Dentro de los grupos	0.009691697	4	0.002422924			
Total	0.030244206	7				

Tabla No. A.15. Análisis de varianzas del tiempo de cocción en las 4 variedades de frijol germinadas

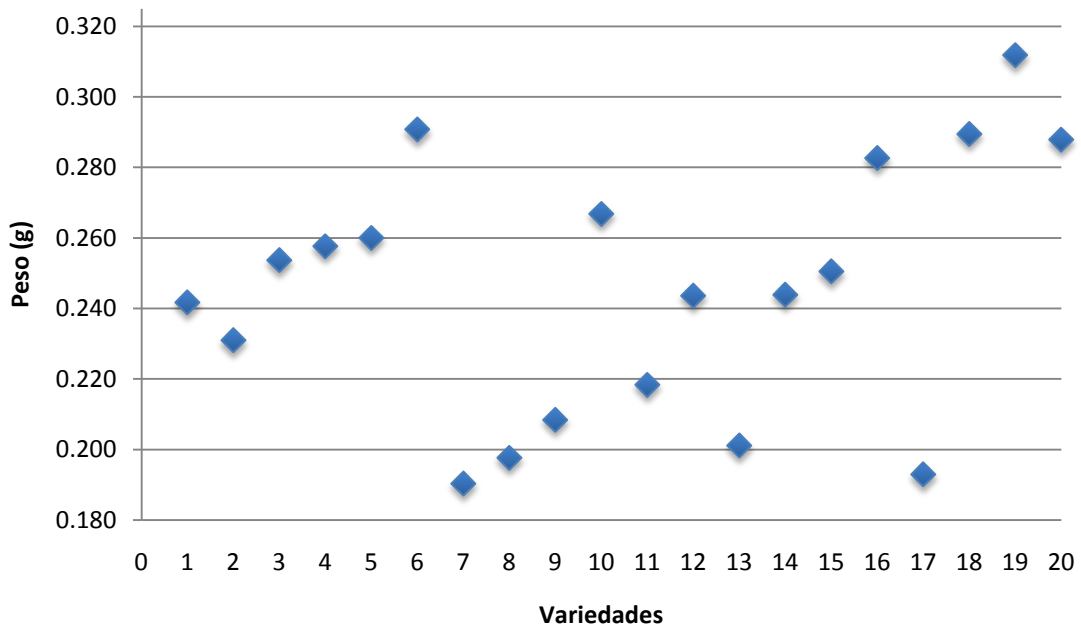
RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Variedad 4	2	0.114583333	0.057291667	5.4253E-05
Variedad 8	2	0.09375	0.046875	5.4253E-05
Variedad 19	2	0.125	0.0625	1.5407E-33
Variedad 20	2	0.09375	0.046875	5.4253E-05

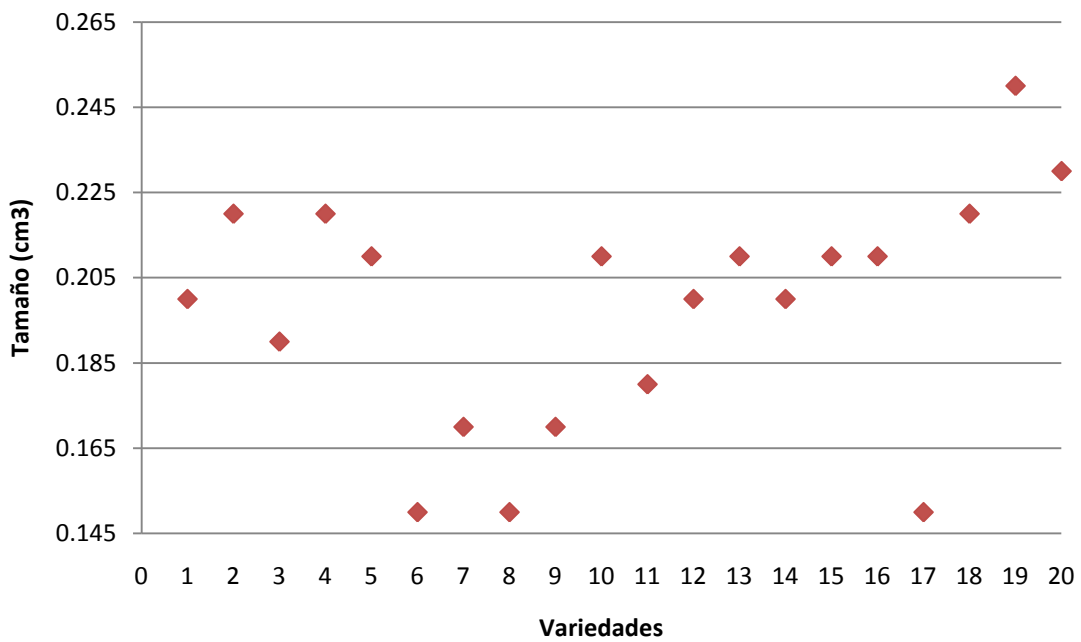
ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.000366211	3	0.00012207	3	0.158102957	6.591382117
Dentro de los grupos	0.00016276	4	4.06901E-05			
Total	0.000528971	7				

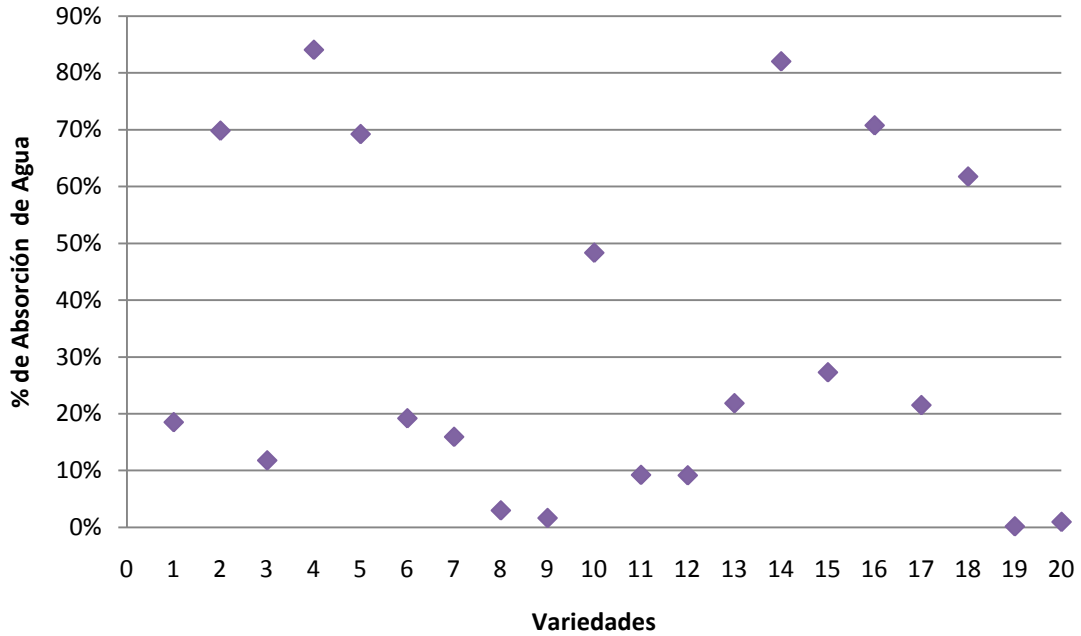
Gráfica No. 1 Peso de grano promedio (frijol sin germinar)



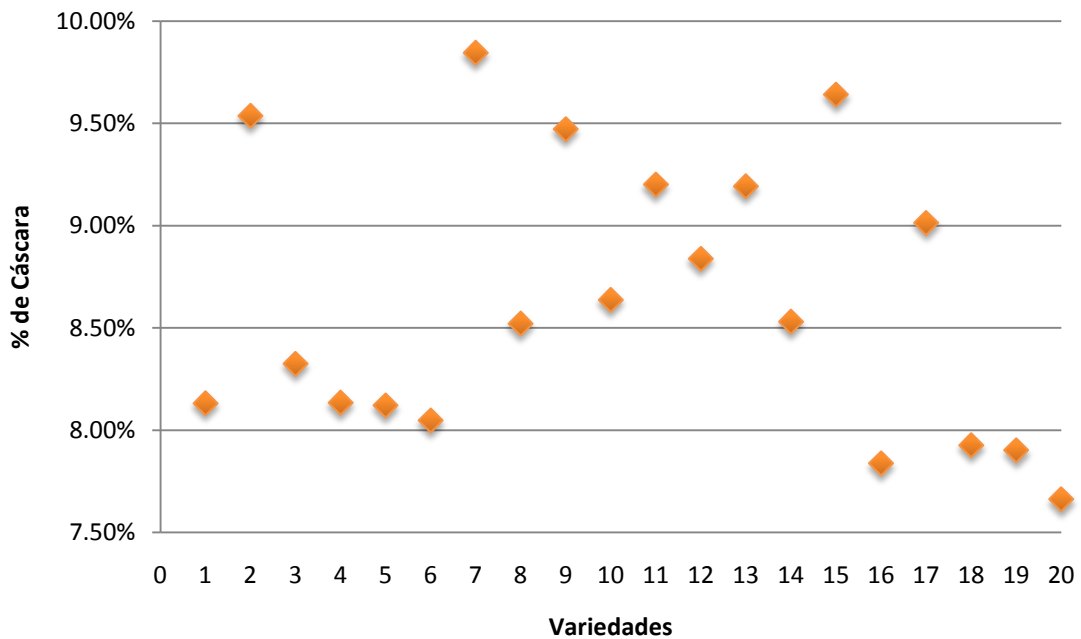
Gráfica No. 2 Volumen de Grano Promedio (frijol sin germinar)



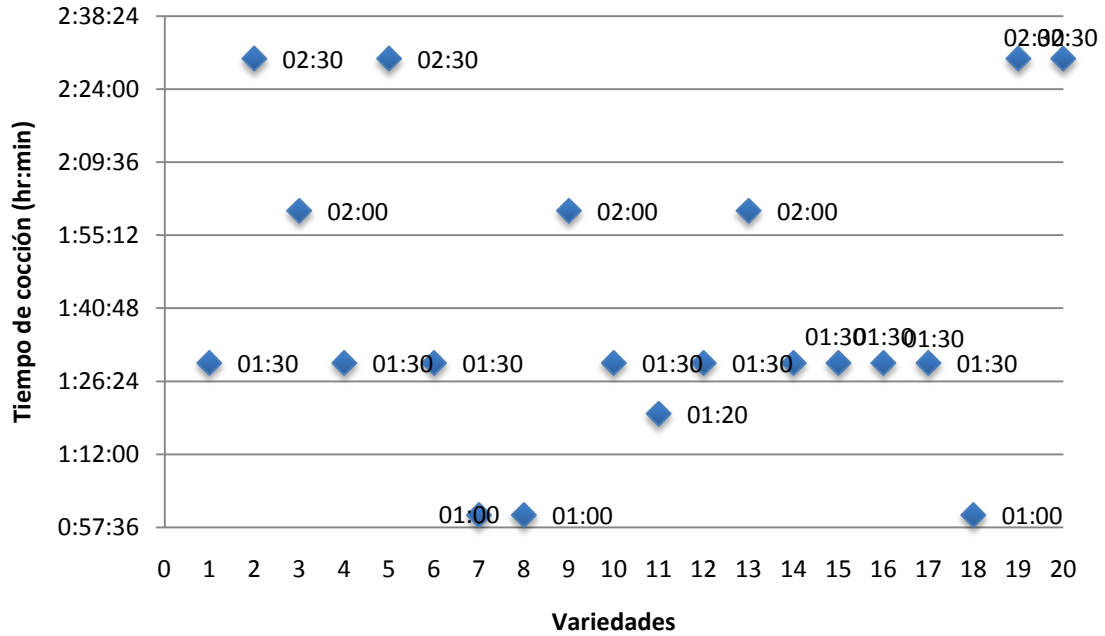
Gráfica No. 3 Absorción de agua (frijol sin germinar)



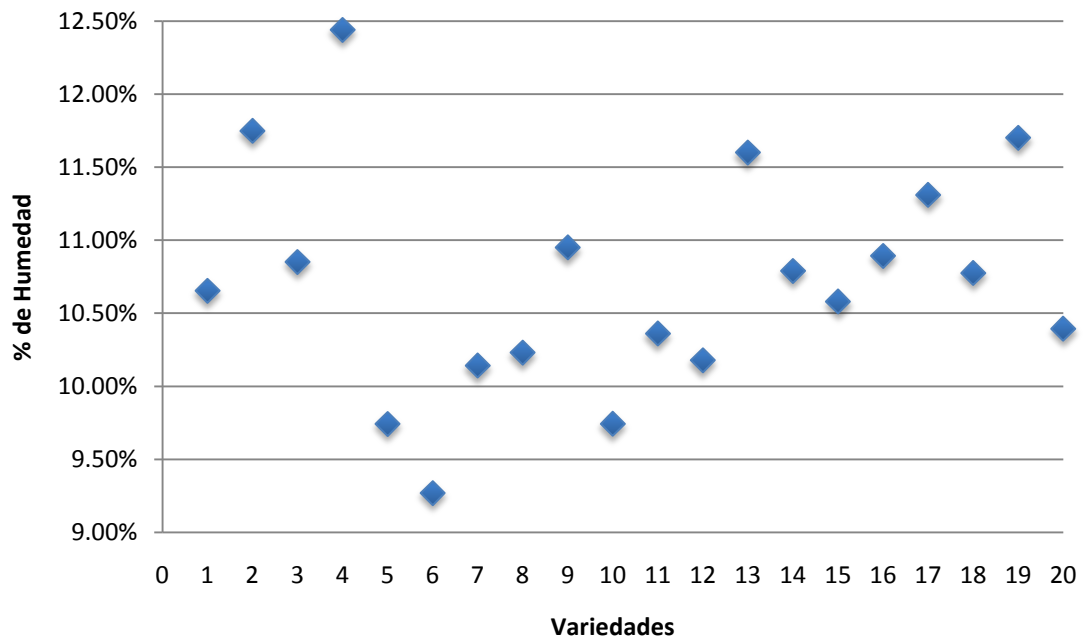
Gráfica No. 4 Porcentaje de Cáscara (frijol sin germinar)



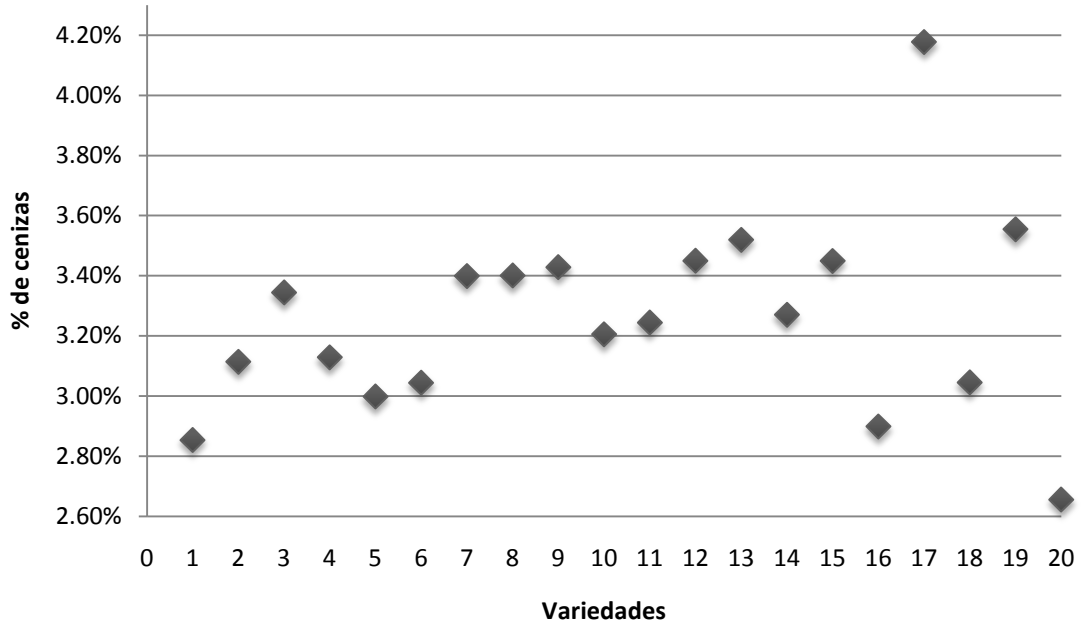
Gráfica No. 5 Tiempo de cocción (frijol sin germinar)



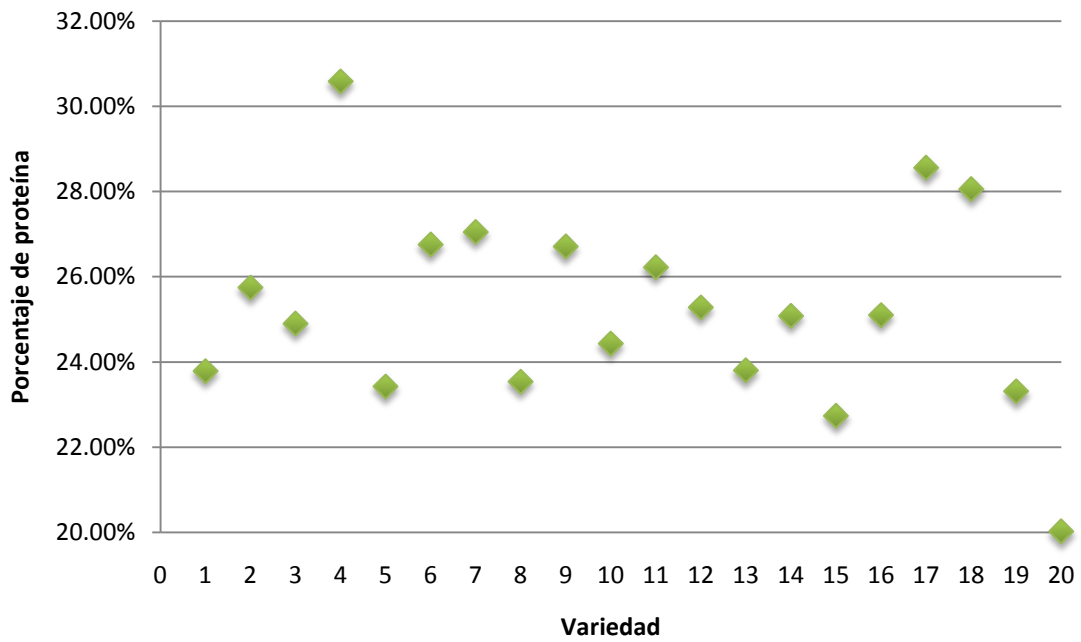
Gráfica No. 6 Porcentaje de Humedad (frijol sin germinar)



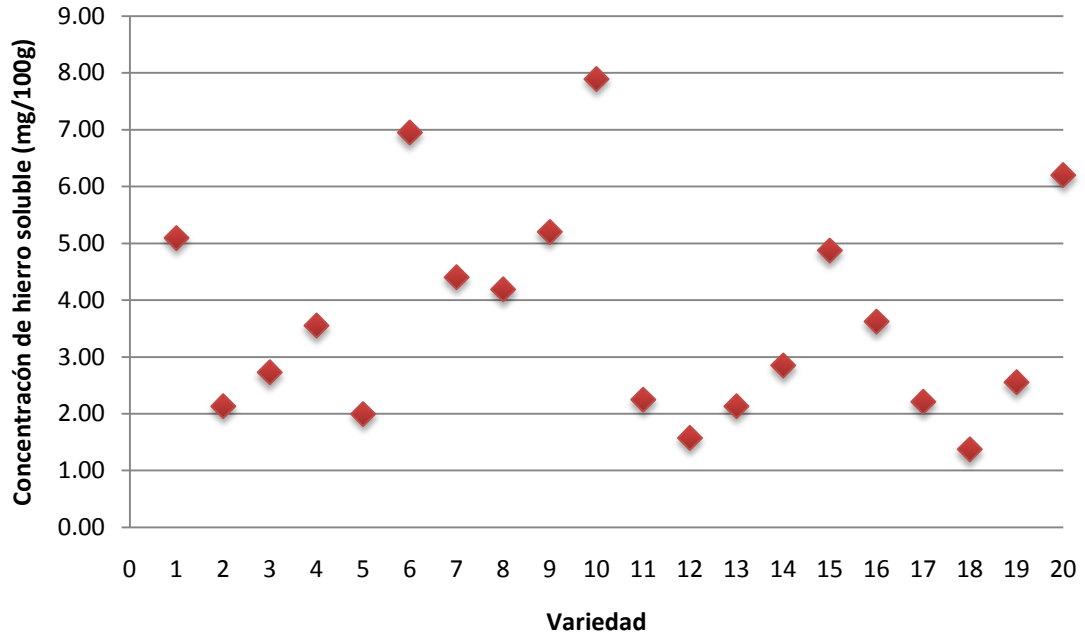
Gráfica No. 7 Porcentaje de Cenizas (frjol sin germinar)



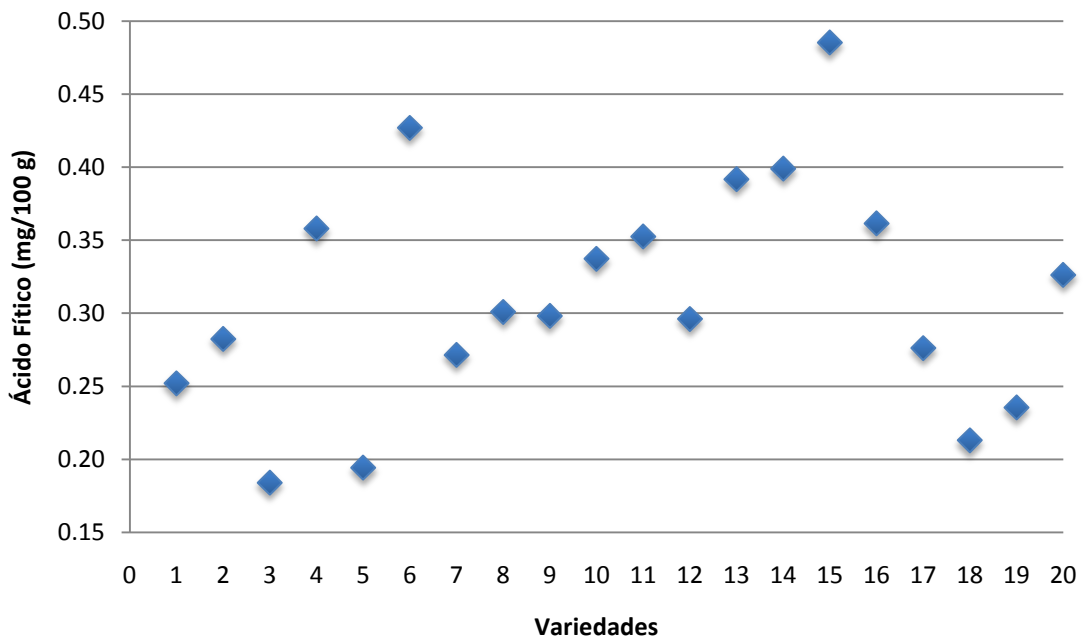
Gráfica No. 8 Porcentaje de Proteína (frjol sin germinar)



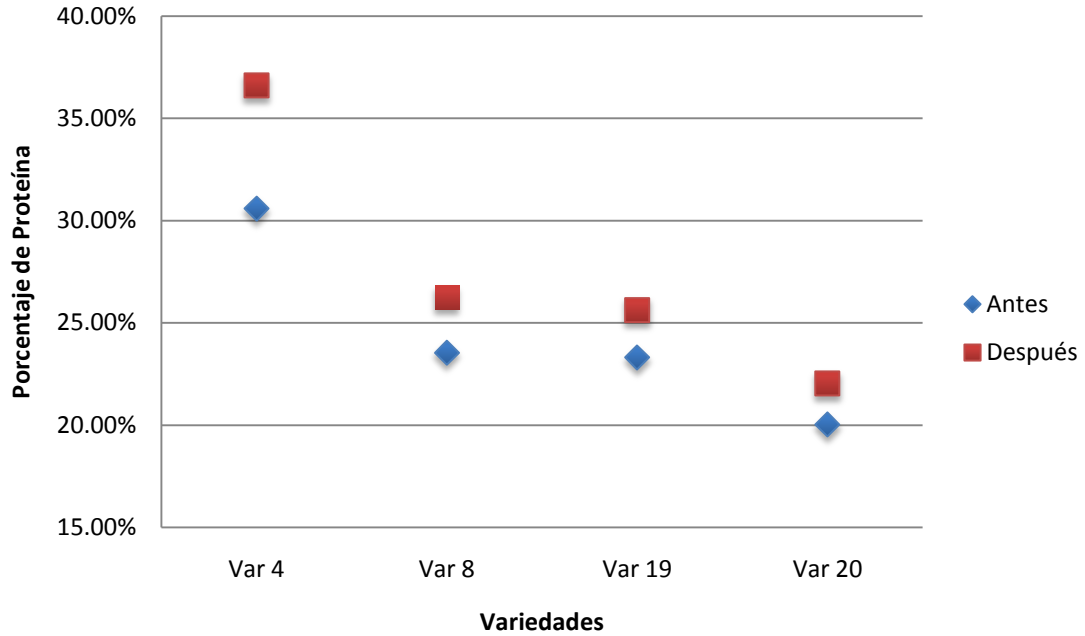
Gráfica No. 9 Hierro Soluble (frijol sin germinar)



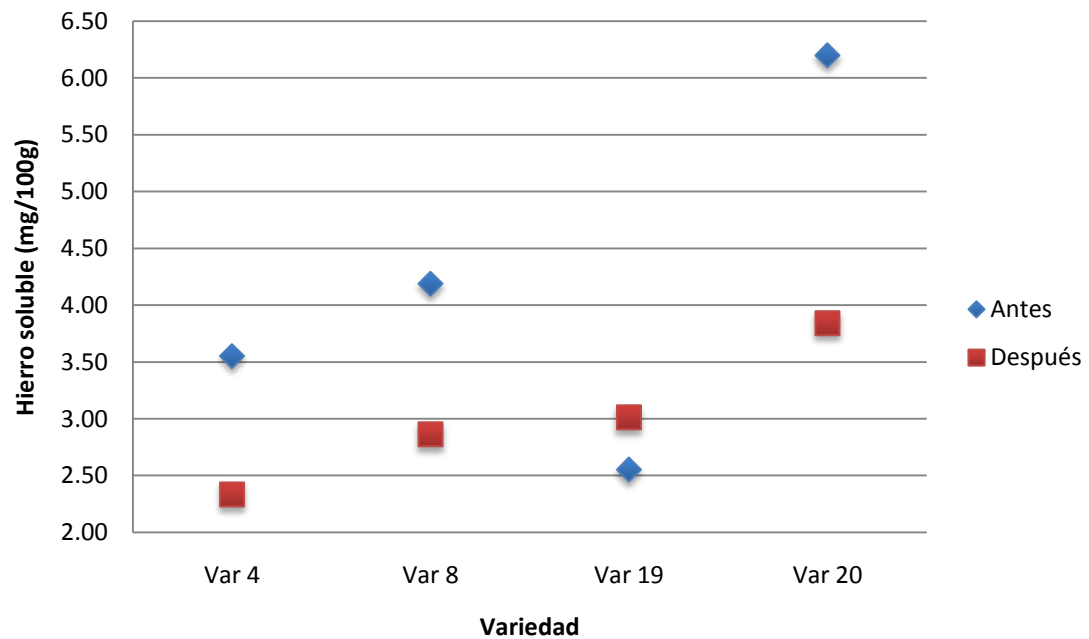
Gráfica No. 10 Ácido Fítico (frijol sin germinar)



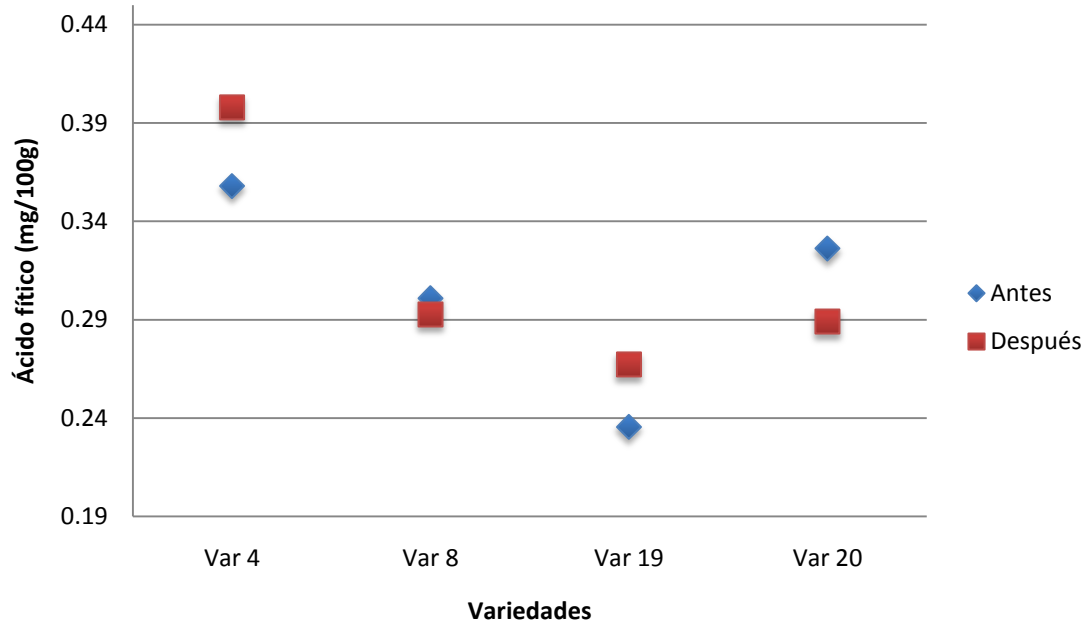
Gráfica No. 11 Efecto de la germinación en el porcentaje de proteína



Gráfica No. 12 Efecto de la germinación en el contenido de hierro soluble



Gráfica No. 13 Efecto de la germinación en el contenido de ácido fítico



Gráfica No. 14 Efecto de la germinación en el tiempo de cocción

