

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EFFECTO DE LAS ALTAS TEMPERATURAS EN EL CAMPO, EL MOMENTO DE LA COSECHA Y EL ALMACENAMIENTO TRADICIONAL SOBRE EL TIEMPO DE COCCIÓN Y LA IMBIBICIÓN DE LOS GRANOS DE VARIEDADES DE FRIJOL COMÚN

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrados en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de Cultivos

OLGA PATRICIA OREAMUNO FONSECA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2016

Dedicatoria

*Primero a Dios y a la Virgen María por darme la fuerza y sabiduría para
finalizar este proyecto.*

*A mi madre Olga por darme la vida y todo el apoyo necesario
para cumplir mis metas.*

*A mi esposo Cristian porque sin saberlo me ayudó
desde el inicio sin condiciones en este proyecto.*

A mi familia y amigos por su apoyo.

Agradecimientos

Agradezco al Ph.D Marco Vinicio Gutiérrez Soto por dirigir esta investigación y brindarme sus consejos durante el proceso. Sin su colaboración y aportes no hubiera sido posible finalizar este trabajo con éxito.

Al Ph.D Néstor Chaves por su ayuda durante este proyecto, y al Ph.D Luis Felipe Arauz Cavallini y al M.Sc Elmer García por sus valiosos aportes.

A los compañeros de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), al personal del Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) y al Consejo Nacional de Producción (CNP) por la cooperación y capacitación brindada a mi persona para el desarrollo de esta tesis.

A los compañeros del Programa de Leguminosas Marvin Arias, Francisco González, Jonathan Campos, Luis Diego Oreamuno, por toda su colaboración durante el trabajo de campo de este ensayo. Al Ing. José Araya del Programa de Ecofisiología por su apoyo en este proceso.

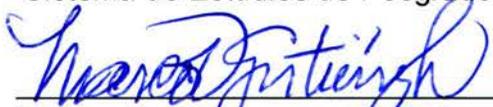
A toda mi familia y amigos por acompañarme en este sueño y darme ánimo para llegar a la meta.

"Esta tesis fue aceptada por la comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica. Como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de Cultivos"



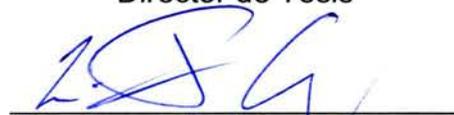
Ph.D Paul Esker

Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado



Ph.D Marco Vinicio Gutierrez Soto

Director de Tesis



Ph.D Luis Felipe Arauz Cavallini

Asesor



M.Sc Elmer Garcia Díaz

Asesor



M.Sc Amy Wang Wong

Representante del Director

Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Olga Patricia Oreamuno Fonseca

Candidata

Tabla de contenido

Portada	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Hoja de aprobación	iv
Tabla de contenido	v
Lista de cuadros	viii
Lista de figuras	x
I. Introducción general	1
II. Resumen de los capítulos	4
III. Revisión de literatura	6
3.1 Importancia del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en Costa Rica	6
3.2 Zonas y épocas de producción del frijol	7
3.3 Requerimientos ecológicos del cultivo.....	7
3.4 Desarrollo del cultivo y cosecha	10
3.5 Calidad del grano de frijol	12
3.6 Tiempo de cocción	14
3.7 Factores que afectan el tiempo de cocción del frijol.....	15
3.7.1 Características de la cubierta seminal	15
3.7.2 Efecto del almacenamiento	16

3.7.3 Contenido y características de los carbohidratos	17
3.7.4 Compuestos fenólicos	18
3.7.5 Capacidad de absorción de agua o imbibición	19
3.8 Generalidades del estrés abiótico	20
3.9 Cambio climático y el cultivo del frijol	24
3.10 Literatura citada	26

IV. Capítulo I. Efecto del almacenamiento tradicional sobre el tiempo de cocción y la imbibición de los granos de ocho variedades de frijol común.

4.1 Resumen.....	36
4.2 Introducción	37
4.3 Materiales y métodos.....	39
4.4 Resultados y discusión.....	45
4.5 Conclusiones	64
4.6 Literatura citada	66

V. Capítulo II. Efecto del momento y la práctica de cosecha sobre el tiempo de cocción y la imbibición de los granos de dos variedades de frijol común.

5.1 Resumen.....	72
5.2 Introducción	73
5.3 Materiales y métodos.....	76
5.4 Resultados y discusión.....	85
5.5 Conclusiones	101
5.6 Literatura citada	102
VI. Anexos	106

Lista de cuadros

Revisión de literatura

Cuadro 1. Factores de calidad del grano de frijol.....	13
---	-----------

Capítulo I

Cuadro 2. Características agronómicas de las ocho variedades de frijol utilizadas en esta investigación.....	44
---	-----------

Cuadro 3. Peso de 100 granos (g), largo, ancho y grosor (mm), volumen (ml) y la proporción de testa (%) de los granos de las ocho variedades de frijol. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, 2012.....	48
--	-----------

Cuadro 4. Contenido de humedad (%) de los granos de ocho variedades frijol almacenadas bajo condiciones ambientales, durante un año. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, datos recolectados de setiembre del 2012 a setiembre del 2013.....	52
--	-----------

Cuadro 5. Tiempo de cocción (min), de los granos de ocho variedades de frijol almacenadas bajo condiciones ambientales, durante un año (840 msnm). EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, datos recolectados de setiembre del 2012 a setiembre del 2013.....	52
--	-----------

Cuadro 6. Niveles de significancia observados (probabilidades) de las fuentes de variación consideradas en los modelos de crecimiento logístico de Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, Ho o la humedad del grano en base seca en la hora 0 y k o la pendiente de la curva o la velocidad de absorción de agua. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, 2013.....	58
--	-----------

Cuadro 7. Parámetros calculados de Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0 y k o la pendiente de la curva o la velocidad de absorción, para las variedades de frijol negro y rojo. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, 2013.....	61
---	-----------

Capítulo II

Cuadro 8. Tiempo de cocción (min) de los granos de frijol negro Guaymí y rojo Diquís provenientes de plantas sujetas a plena exposición solar y a una sombra a partir de la madurez fisiológica, y a dos prácticas de cosecha (plantas erectas y plantas volcadas), durante cuatro semanas en el campo después del punto de madurez de cosecha (PC), en EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela (840 msnm) 2013.....**90**

Cuadro 9. Niveles de significancia observados (probabilidades) de las fuentes de variación consideradas en los modelos de crecimiento logístico de Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0 y k o la pendiente de la curva o la velocidad de absorción de agua. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.....**95**

Cuadro 10. Parámetros calculados de la interacción entre la variedad de frijol por las semanas de permanencia en el campo, para los parámetros Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0 y k o pendiente de la curva o la velocidad de absorción. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.....**96**

Cuadro 11. Niveles de significancia observados (probabilidades) de la germinación (%), la longitud de raíz (cm) y la altura de la plántula (cm) de los granos de frijol negro Guaymí y rojo Diquís, sometidos a dos condiciones de exposición solar, a dos prácticas de cosecha, en planta erecta y en planta volcada, que permanecieron en el campo cuatro semanas después del punto de madurez de cosecha. CIGRAS, en San Pedro 2013.....**100**

Cuadro 12. Altura de las plántulas (cm) de frijol Guaymí (negro) y Diquís (rojo) sometidas a dos condiciones de exposición solar (sol y sombra) que permanecieron en el campo por cuatro semanas después del punto de madurez de cosecha. CIGRAS, en San Pedro 2013.....**100**

Lista de figuras

Revisión de literatura

Figura 1. Germinación de la semilla de frijol y emergencia de la plántula en el campo.....9

Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo del frijol. Fuente: IICA 2009.....10

Capítulo I

Figura 3. Temperatura y humedad relativa horaria medidas en la bodega de almacenamiento y en el interior de los sacos de frijol. Cada valor horario de temperatura y humedad representa el promedio de 30 días para los datos de la bodega y seis días para los datos internos de los sacos. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, durante el mes de enero y febrero del 2013.....47

Figura 4. Imbibición de los granos de ocho variedades de frijol negro y rojo que permanecieron almacenadas bajo condiciones ambientales, durante un año. Las líneas corresponden a evaluaciones realizadas en diferentes días después de cosecha (ddc). EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, datos recolectados de setiembre del 2012 a setiembre del 2013.....55

Figura 5. Relación entre la imbibición a las cuatro horas de iniciado el proceso y el tiempo de cocción de ocho variedades de frijol. Cada punto representa una variedad y el promedio de 11 evaluaciones, con su respectivo error estándar. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, datos recolectados de setiembre del 2012 a setiembre del 2013.....57

Figura 6. Imbibición de los granos de ocho variedades de frijol negro y rojo, sometidos a dos tratamientos, los primeros con la cubierta seminal intacta y otros a los cuales se les realizó una incisión en la cubierta seminal a la hora de iniciada la imbibición. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, 2012.....63

Capítulo II

Figura 7. A. Mapa del ensayo de campo, las parcelas grandes representan las parcelas con plena exposición solar y con un techo de sarán (sombra= 80%), cada cuadro pequeño representa una sub-parcela con el arreglo trifactorial (variedad x práctica de cosecha x semanas de permanencia en el campo). B. Techo de sarán (sombra= 80 %) colocado sobre las parcelas grandes al momento de la madurez fisiológica. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.....78

Figura 8. Cronología de las cosechas de frijol. La sombra de sarán (sombra= 80%) fue colocada durante la madurez fisiológica (MF) del frijol. Las plantas volcadas se arrancaron en el punto de madurez de cosecha (PC) y permanecieron en el campo de 1 a 4 semanas luego del PC. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.....79

Figura 9. Vaina de frijol mostrando la instalación de un termopar para la medición de la temperatura de los granos. Estado de la vaina R8. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.....80

Figura 10. Instrumentación empleada para el registro de la temperatura interna de las vainas de frijol en el campo. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.....81

Figura 11. A Radiación. B Humedad relativa y temperatura horaria registrada por la estación meteorológica. Humedad relativa, temperatura horaria registrada del aire y del interior de las vainas de frijol a plena exposición solar (C), y del aire y del interior de las vainas de frijol bajo los techos de sarán (sombra= 80 %) (D), durante cuatro semanas en el campo luego del punto de madurez, cosechadas en dos prácticas, plantas erectas y plantas volcadas. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, en enero y febrero del 2013.....87

Figura 12. Grados día acumulados durante cuatro semanas, calculados a partir de los datos de temperatura generados por la estación meteorológica automática, los medidores de temperatura y humedad instalados dentro y fuera de las techos de sarán (sombra= 80%) y por los termopares insertados dentro de las vainas de frijol, en ambas prácticas de cosecha, en planta erecta y en planta volcada. Los datos generados por los termopares son de 26 días acumulados, debido a que después de esta fecha el equipo presentó

inconvenientes. Temperatura base 7°C. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, enero y febrero del 2013.....88

Figura 13. Imbibición de los granos de frijol Guaymí (negro) y Diquís (rojo), que permanecieron expuestos al sol o bajo una cobertura de sarán (sombra= 80 %) colocada en el momento de madurez fisiológica, durante cuatro semanas después del punto de madurez de cosecha (PC). Cada curva es el promedio de 8 repeticiones. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.....92

Figura 14. Germinación (%) de dos variedades de frijol, Guaymí (negro) y Diquís (rojo), que permanecieron en el campo durante cuatro semanas, luego del punto de madurez de cosecha. La semana 0 se refiere al punto de madurez de cosecha. CIGRAS, en San Pedro 2013.....97

Figura 15. Longitud de la raíz de las plántulas (cm) de frijol Guaymí (negro) y Diquís (rojo) sometidas a dos condiciones de exposición solar (sol y sombra) que fueron cosechadas bajo dos prácticas. Las barras negras representan al frijol negro cosechado de plantas erectas y las rojas de plantas volcadas, las barras rojas representan el frijol rojo cosechado de plantas erectas y las azules de plantas volcadas. CIGRAS, en San Pedro 2013.....98

I. Introducción general

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los principales alimentos a nivel mundial, en Latinoamérica y Costa Rica es la leguminosa de mayor importancia en la dieta de la población, donde más del 85 % de la producción total es dedicada al consumo humano (FAO 1990). El grano es fuente esencial de proteína vegetal, hierro, fibra, ácido fólico, tiamina, potasio, magnesio y zinc (INTA 2008).

Los rendimientos del frijol son típicamente muy bajos, entre 0,6 y 0,8 toneladas por hectárea, debido a la precocidad de las variedades y a su poca capacidad para alcanzar índices de área foliar óptimos, lo que reduce la intercepción de la luz, la producción de biomasa y el rendimiento (Galván et al. 2003). A esto se suma el efecto del estrés abiótico impuesto por las condiciones subóptimas que se presentan en la agricultura nacional y de subsistencia en particular, expuesta frecuentemente al estrés hídrico, alta radiación, altas temperaturas y baja fertilidad de los suelos (Acosta et al. 2008).

En el caso específico del frijol, las principales pérdidas del rendimiento, tanto en cantidad como en calidad, ocurren después de la cosecha, como consecuencia del mal manejo de los granos cosechados y del almacenamiento inapropiado (Mora 1982). Este inadecuado manejo poscosecha causa pérdidas del rendimiento debido a la germinación precoz y al endurecimiento de los granos, provocado por el secado acelerado bajo altas temperaturas en el campo (Mora 1982 y 1989). Aunque el estrés debido a altas temperaturas ha sido estudiado por décadas y se dispone de abundante conocimiento sobre sus efectos (Turner y Kramer 1980, Rainey y Griffiths 2005), pero esta información se refiere en su gran mayoría al desarrollo de las plantas y a los procesos que ocurren en el campo antes de la cosecha.

El efecto de las altas temperaturas en el campo sobre la calidad del frijol y sus consecuencias en poscosecha casi no ha sido estudiado (Lyndon 1992, Muasya et al. 2002), por lo que este trabajo de tesis representa una respuesta a la necesidad de generar información básica y práctica en esta área. Este problema podría agravarse debido a los efectos del cambio climático como el aumento de la concentración de CO₂ atmosférico, con el consecuente aumento de la temperatura y cambios en los patrones de la precipitación (Watson et al. 1997). El calentamiento global puede provocar pérdidas importantes en el cultivo del frijol, debido a que se estima que la temperatura que permite obtener los mayores rendimientos ya ha sido superada (Ordaz et al. 2010).

La cosecha del frijol se realiza después de que los granos han alcanzado el punto de madurez de cosecha, luego los agricultores acostumbran dejar las plantas en el campo para promover el secado adicional o arrancarlas y dejarlas volcadas secando al sol, sin que existan pruebas que demuestren si estas prácticas pueden provocar endurecimiento de los granos u otros trastornos (PRIAG 1996). La combinación de altas temperaturas de secado y la rápida reducción del contenido de humedad podrían provocar daños físicos y endurecimiento de los granos (Aguilera et al. 1986, IICA 2009). Además las condiciones climáticas experimentadas durante la floración, la formación y el llenado de las semillas pueden afectar todos los factores de calidad del grano (Barrios et al. 2011).

Dentro de los parámetros o factores de calidad del grano del frijol se encuentran el porcentaje de humedad, de impurezas, de grano dañado o partido, el tiempo de cocción, el sabor, la textura del grano cocido y el espesor del caldo (Mujica et al. 2011). El tiempo de cocción se define como la cantidad de tiempo necesario para cocinar el 96 % de una muestra de frijoles (Muñoz et al. 2009). Los frijoles de primera calidad son aquellos que presentan tiempos de cocción entre 65 min a 95 min, mientras que los que se encuentran entre 110 min y los 126 min son considerados de segunda calidad, los tiempos mayores a estos se consideran fuera de la norma (La Gaceta 2005).

El aumento en el tiempo de cocción es uno de los problemas más graves que se presentan durante almacenamiento del frijol y trae consecuencias como menor aceptación por parte del consumidor, mayor gasto de energía, mayor tiempo de preparación, pérdida de valor energético y nutricional y en muchos casos pérdida del valor comercial (Mora 1982 y 1989). El endurecimiento del frijol es perjudicial para los productores de frijol, quienes son penalizados por el comprador a la hora de fijar el precio del grano.

La imbibición de los granos de frijol ha sido utilizada como criterio para identificar tempranamente líneas que absorban mayor cantidad de agua, ya que esta variable permite evaluar el grado de impermeabilidad de la testa durante el remojo (Mujica et al. 2011). Ésta a su vez, se relaciona con el tiempo de cocción, debido a que las variedades que presentan mayor imbibición se cocinan en menor tiempo (Marques et al. 2010, Mujica et al. 2011).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del estrés causado por altas temperaturas en el campo y el momento de la cosecha sobre el tiempo de cocción de los granos de variedades de frijol y su comportamiento durante el almacenamiento, además examinar el uso de la imbibición como un método rápido y económico para la estimación del tiempo de cocción.

II. Resumen de los capítulos

El presente trabajo de investigación se dividió en dos capítulos, cuyo contenido y objetivos se detallan a continuación:

Capítulo I. Efecto del almacenamiento tradicional sobre el tiempo de cocción y la imbibición de los granos de ocho variedades de frijol común

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del almacenamiento sobre el tiempo de cocción y la imbibición de los granos de ocho variedades de frijol común, durante un año. Se sembraron en el campo las ocho variedades de frijol y se realizó la cosecha durante la madurez, a finales de la época lluviosa. Las evaluaciones se iniciaron cuando los granos contaban con un porcentaje de humedad de 15 %. Se evaluó el tiempo de cocción y la imbibición durante un año de almacenamiento. Se observaron diferencias en cocción entre las variedades de frijol negro y rojo durante el almacenamiento; las rojas presentaron mayor endurecimiento que las negras. Las variedades negras, con excepción de la negra brillante presentaron mayor velocidad de imbibición en comparación con las rojas. La imbibición no varió a lo largo del año de almacenamiento para UCR55, Matambú ni Guaymí. La dinámica de la imbibición fue un indicador del tiempo de cocción de los granos de frijol, ya que los promedios de ambas variables presentaron una relación del 74%. Las variedades que mostraron altos porcentajes de imbibición se cocinaron en menos tiempo. Según el modelo de imbibición a través del año de almacenamiento, el parámetro H_0 o la humedad del grano en base seca a la hora 0 disminuyó en todas las variedades, excepto en Tayní, el H_{max} o el valor máximo al que tiende la imbibición conforme pasan las horas y k o la pendiente de la curva o velocidad de imbibición disminuyeron en todas las variedades, por lo las variedades con el pasar del tiempo embebían más lento y alcanzaban valores menores de imbibición máxima. Los resultados demuestran que la cubierta seminal es una importante barrera física durante la imbibición, especialmente en las variedades rojas y la negra brillante.

Capítulo II. Efecto del momento y la práctica de cosecha sobre el tiempo de cocción y la imbibición de los granos de dos variedades de frijol común

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del momento y la práctica de cosecha sobre el tiempo de cocción y la imbibición de una variedad de frijol negro (Guaymí) y una roja (Diquís), y evaluar si estas prácticas afectan la germinación y el vigor de las semillas. Se establecieron cuatro parcelas grandes en el campo, dos expuestas a plena exposición solar y otras dos a las cuales se les colocó un techo de sarán (sombra= 80%) al momento de la madurez fisiológica. Cada parcela se distribuyó con un arreglo trifactorial de 2 x 2 x 5, donde el primer factor fue la variedad de frijol, el segundo las dos prácticas de cosecha, en plantas erectas y volcadas, y el tercero fue las semanas de permanencia en el campo después del punto de madurez de cosecha. No presentó diferencias la temperatura interna de las vainas provenientes de ambas condiciones de exposición solar y de las dos prácticas de cosecha. Los grados días calculados presentaron diferentes valores según el equipo de medición utilizado. El tiempo de cocción de Guaymí fue de 80 min, excepto en los tratamientos que permanecieron en el campo por cuatro semanas (95 min). Diquís presentó un tiempo de cocción de 95 minutos en todos los tratamientos. Las curvas de imbibición del frijol negro presentaron mayor velocidad de absorción de agua que Diquís. El modelo de crecimiento logístico presentó una interacción significativa entre las variedades de frijol y las semanas de permanencia en el campo después del punto de madurez de cosecha, para las variables Hmax o el valor máximo al que tiende la imbibición y Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0. El porcentaje de germinación disminuyó para la variedad Diquís a partir de la semana tres de cosecha, después del punto de madurez.

III. Revisión de literatura

3.1 Importancia del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en Costa Rica

El frijol es una leguminosa de gran importancia en la dieta de la población mundial, en especial en países de bajos recursos económicos, en Costa Rica es uno de los alimentos básicos y la principal fuente de proteína vegetal (MAG 1991). Además de proteínas y hierro, el grano contiene minerales, fibra, carbohidratos, ácido fólico, tiamina, potasio, magnesio y zinc (Salazar 1997).

Se estima que el consumo anual de frijol en nuestro país es de 40000 toneladas métricas, donde la producción nacional cubre alrededor del 30 %. El consumo per cápita se estima entre los 8,9 kg por persona por año (SEPSA-FAO 2006).

La producción nacional de frijol ha disminuido desde 1995, debido a que el Estado costarricense implementó políticas de libre comercio, con el fin de eliminar las compras de ciertos productos agrícolas. Esta medida estimuló la importación de frijoles, la disminución en el número de productores y del área sembrada (SEPSA-FAO 2006).

La mayoría de los productores nacionales destinan la cosecha de frijol para fines comerciales y de autoconsumo (SEPSA-FAO 2006). En algunas zonas la producción de frijol constituye la única fuente de ingreso, labor que no demanda todo el tiempo del agricultor, permitiéndole dedicarse a otras labores (SEPSA-FAO 2006).

3.2 Zonas y épocas de producción del frijol

Las zonas de mayor producción de frijol son la región Huetar Norte (Upala y Los Chiles), y la Brunca (Pérez Zeledón y Buenos Aires, principalmente), representando el 67 % y 22 % de la producción total, respectivamente. La producción de frijol se caracteriza por una marcada estacionalidad en la salida de la cosecha, siendo los meses entre enero y abril cuando se concentra la mayor cantidad (SEPSA y FAO 2006). La época de siembra en la región Huetar Norte, la más tecnificada del país, se extiende desde finales de noviembre hasta la primera semana de enero en los cantones de Los Chiles, Upala y Guatuso (INTA 2008).

El rendimiento del cultivo se encuentra entre 0,6 y 0,8 toneladas por hectárea (Ordaz et al. 2010). La mayoría de los productores han llegado a mecanizar toda la producción, con excepción de la cosecha. En la región Brunca existen dos épocas de siembra, una al inicio de las lluvias en mayo y la segunda de finales de setiembre hasta finales de octubre. En esta región solo se realiza el desgrane como actividad mecanizada (SEPSA-FAO 2006).

3.3 Requerimientos ecológicos del cultivo

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie dicotiledónea perteneciente a la familia de las papilionáceas, originaria de América tropical. Se cultiva en zonas tropicales, subtropicales y templadas. Se aclimata desde los 200 hasta los 1800 msnm (Gepts et al. 1986).

Los suelos más adecuados para el cultivo de frijol son de texturas medianas, profundos, fértiles, preferiblemente de origen volcánico, con buen drenaje y aeración (MAG 1991). Se deben evitar los suelos ácidos y el pH debe estar comprendido entre 6,5 y 7,5 (INTA 2008). El frijol requiere que la humedad del suelo se distribuya uniformemente y durante su ciclo de vida necesita entre 300 y 400 mm de agua (suplida por lluvia o riego). El rango de temperaturas adecuadas

para el crecimiento se encuentra entre los 20 °C y 25 °C durante el día y entre los 16 °C a 18 °C durante la noche (Sing 1999).

La humedad relativa requerida se encuentra entre los 65 % y 75 %. Es un cultivo sensible a la salinidad, tanto del suelo como del agua. Las altas concentraciones de sales pueden provocar la disminución del rendimiento hasta de un 50% (Sing 1999). Las diferentes variedades de frijol presentan niveles variados de sensibilidad al fotoperiodo, encontrándose cultivares de día corto y otros insensibles a la variación en la duración relativa del día y la noche. Los días largos pueden causar retardo en la floración y la madurez (White 1985, CIAT 1991).

El sistema radicular del frijol es el típico de una planta dicotiledónea de ciclo anual, se compone de una raíz principal, raíces laterales derivadas en la parte basal de ésta, raíces adventicias que surgen en la capa superficial del suelo y pelos radicales en cada una de éstas (Lynch y Brown 2001). El tallo principal es herbáceo, existen variedades de tamaño pequeño y porte erguido, con alturas de 30 cm a 40 cm y también existen otras variedades que alcanzan alturas de 2 m o 3 m (CIAT 1984). El primer par de hojas las conforman las hojas cotiledonares, son simples y opuestas. Luego emerge la primera hoja verdadera trifoliada de forma lanceolada y acuminada (Fig. 1).



Figura 1. Germinación de la semilla de frijol y emergencia de la plántula en el campo. Fuente: <http://www.buzzle.com/articles/life-cycle-of-bean-plant.html>

Las flores pueden ser de diferentes colores, se desarrollan en una inflorescencia de racimo de 4 a 8, cuyos pedúnculos se insertan en las axilas de las hojas o en las terminaciones de algunos tallos. Los frutos son los ovarios diferenciados y se desarrollan en forma de vainas. Las vainas son de color, forma y tamaño variable y en el interior cuentan con 4 a 6 semillas (White 1985).

La semilla del frijol está constituida por la cubierta seminal, dos cotiledones (hojas embrionarias) y el eje embrionario propiamente dicho, que se encuentra entre los cotiledones, con la radícula orientada hacia el micrópilo y la plúmula hacia el interior. Los cotiledones son considerados hojas embrionarias engrosadas que almacenan ~60 % de carbohidratos, 21 % - 23 % de proteínas, 1.5 % - 2 % de lípidos y 3 % - 3.5 % de minerales y alrededor de 8.5 % de fibra localizada en la testa (de Almeida et al. 2006). Las semillas pueden tener formas variadas: cilíndrica, arriñonada, esférica u otras, además de diversidad de colores: blanco, rojo, negro, crema o combinados (CIAT 1984).

El grano de frijol contiene diversos factores antinutricionales (inhibidores enzimáticos, hemaglutininas, saponinas, ácido fítico, etc.) que afectan el valor

nutricional de las semillas e impiden la utilización biológica de algunos nutrientes (Blanco y Bressani 1991). Estos metabolitos secundarios y proteínas variadas pueden causar flatulencia y desórdenes digestivos en los seres humanos (Mederos 2006).

3.4 Desarrollo del cultivo y cosecha

Las etapas fenológicas del frijol están divididas en dos fases, la vegetativa y la reproductiva. La fase vegetativa se inicia cuando las semillas comienzan la germinación y termina cuando el primer botón floral aparece. La fase reproductiva se inicia desde la aparición del primer botón floral o racimos florales hasta la cosecha o la madurez (CIAT 1986). El desarrollo fenológico del cultivo del frijol se cuantifica según una escala visual basada en la producción de hojas y la entrada en floración. Los estados vegetativos se describen como V0 hasta V4 y los reproductivos como R5 hasta R9 (Fig. 2).

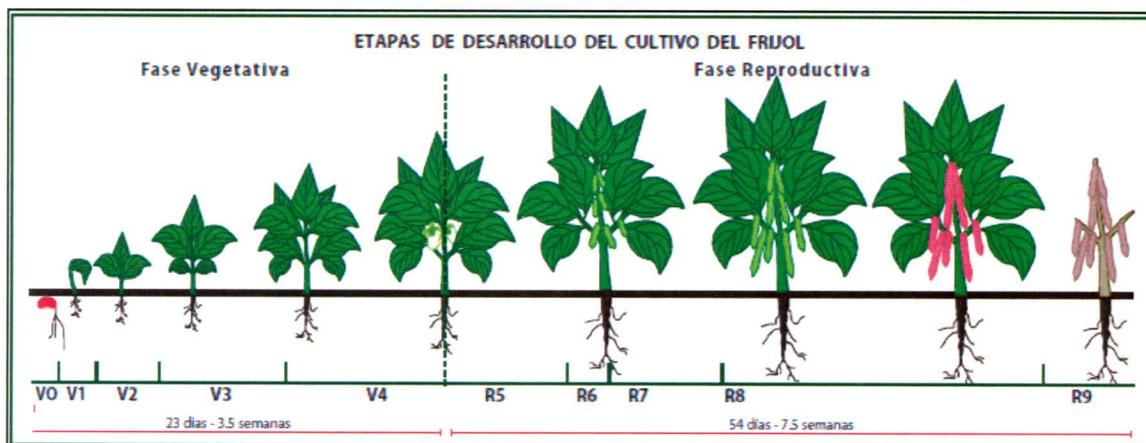


Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo del frijol. Fuente: IICA 2009.

La máxima calidad de las semillas es obtenida en la madurez fisiológica, cuando ha finalizado su llenado y cuentan con el máximo peso seco (Egli 1998). En esta etapa, aproximadamente el 90 % de las vainas del frijol cambian de color verde a

verde amarillento, las hojas se vuelven amarillas por vejez o se han caído en su gran mayoría (Clavijo et al. 2013). La semilla cuenta con la óptima calidad, el mayor poder germinativo y vigor, pero con altos contenidos de humedad, por lo que no se puede realizar la cosecha en este momento (IICA 2009).

El frijol debe ser cosechado cuando se encuentra en madurez, para evitar el daño mecánico que pueden sufrir las semillas durante el aporreo y la trilla, ya que en este estado las semillas han disminuido el contenido de humedad (Muasya et al. 2008). El punto de cosecha es observado en el campo, cuando todas las vainas cambian de color verde amarillento a tonos pajizos (Clavijo et al. 2013, Muasya et al. 2002).

El momento de la cosecha influencia varias propiedades físicas, químicas y nutricionales de frijol, que se extienden aún durante el almacenamiento. Dentro de estas, se pueden citar el contenido de humedad, la capacidad de absorción de agua, la cantidad de compuestos fenólicos totales y la fracción proteica, por lo que la cosecha se debe realizar en el momento apropiado (Oliveira et al. 2003).

Luego de cosechar las plantas, los agricultores y productores utilizan un período de pre-secado, que consiste en dejar las plantas en el campo deshidratándose para disminuir la humedad del grano, ya que en este momento las vainas cuentan con un contenido de humedad entre el 30 % y 50 % (IICA 2009). La temperatura de secado no debe exceder los 43 °C, ya que valores superiores pueden causar daños en las estructuras de la semilla y provocar la muerte del embrión (Alizaga 1985). Las lluvias durante este período pueden provocar que las plantas en contacto con el suelo se contaminen con hongos y otros microorganismos o que los granos pueden germinar (IICA 2009).

Luego del período de secado al sol, los granos deben contar con una humedad entre 18 % y 20 % para poder "aporrear" las plantas, lo cual consiste en golpearlas para separar el grano de los demás residuos vegetales de la vaina

(Cascante 2009¹). Realizar la aporrea o trilla con porcentajes de humedad menores puede causar quebradura de los granos (Cascante 2009¹).

Durante el verano, los agricultores acostumbran colocar los granos sobre manteados o directamente en el suelo, mientras que en época lluviosa los secan en estructuras rústicas para evitar que se moje la cosecha, sin embargo los granos de frijol pueden sufrir de altas temperaturas y provocar una rápida reducción de la humedad y como consecuencia de esto aumentar el tiempo de cocción, por lo que Gutiérrez y colaboradores (2009) diseñaron un modelo que permitiera secar los granos de frijol con el clima natural, brindándoles protección temporal de la lluvia y del rocío durante la etapa final del secado.

Luego del secado final, los granos se deben almacenar con contenidos de humedad entre 12 % y 14 %. Almacenar con valores de humedad mayores al 16 % puede provocar pérdidas por germinación de las semillas, el grano se puede arrugar, infectar con hongos y aumentar el desarrollo de plagas insectiles (IICA 2009). Se recomienda almacenarlo en silos metálicos o estañones para evitar el daño por insectos, roedores y contaminantes (IICA 2009).

3.5 Calidad del grano de frijol

La calidad del grano de frijol se ve influenciada por la combinación de un conjunto de factores como el efecto genético, el tipo de suelo y de las condiciones climáticas (Gutiérrez et al. 2004), la región agroecológica de siembra, el manejo del cultivo y la cosecha, por lo que estos factores deben tomarse en cuenta para la obtención de genotipos que satisfagan las necesidades de comercialización y del consumidor final (Pérez et al. 2002, Sing y Jauhar 2005).

Las características químicas y físicas del grano se encuentran relacionadas con el valor nutritivo, sanitario, industrial, culinario y comercial (Mederos 2006). Dentro de los indicadores que determinan la calidad nutricional se encuentran el

contenido de carbohidratos, de proteínas, de factores antinutricionales y micronutrientes (Mederos 2006).

Existe un decreto a nivel nacional que establece los parámetros o factores de la calidad del grano, que se deben cumplir para determinar los frijoles de primera y segunda calidad. Dentro de los factores se encuentran el porcentaje de humedad, de impurezas, de grano dañado o partido y el tiempo de cocción (Cuadro 1). Además el sabor, la textura del grano cocido y el espesor del caldo (Mujica et al. 2011). El tiempo de cocción y la textura del grano conforman el término conocido como “calidad de cocción”, los industriales y consumidores desean un grano de bajo tiempo de cocción y que produzca un caldo espeso (Mujica et al. 2011).

Cuadro 1. Factores de calidad del grano de frijol.

Factores de calidad	Tolerancias máximas	
	Grado 1	Grado 2
Humedad (%)	16	16
Tiempo de cocción (min)	95	126
Impurezas (%)	0,5	2
Grano contrastante (%)	1	3
Grano dañado total (%)	1	3
Grano quebrado (%)	0,5	0,75
Grano partido (%)	0,5	3
Infestado (%)	No se acepta	No se acepta
Otros granos (%)	0,25	0,5
Dudosamente infestado (N°)	5	5

Fuente: Decreto N° 32149-MEIC-S-MAG, La Gaceta, 5 de enero del 2005.

3.6 Tiempo de cocción

El tiempo de cocción se establece cuando al menos el 96 % de los granos de la muestra sometida a la prueba de cocción estén cocidos (Decreto N° 32149-MEIC-S-MAG, publicado en La Gaceta del 5 de enero del 2005). Para determinar el tiempo de cocción se deben llevar a ebullición dos litros agua (97 °C - 100 °C) en cocinas eléctricas o de gas y colocar 500 gramos de frijoles. Luego de esto, se espera a que el agua vuelva a hervir para considerar el tiempo de inicio de la prueba, ósea tiempo 0. Se deben tomar muestras de 50 frijoles a los 65, 80, 95, 110 y 126 minutos, para determinar el porcentaje de grano cocido. El tiempo de cocción se determina oprimiendo los frijoles con los dedos índice y pulgar y se considera grano cocido al que después de oprimirlos presenten una consistencia pastosa, suave y sin grumos. Las muestras que presenten un tiempo de cocción entre 65 min y 95 min se consideran de primera calidad y los que se cocinen entre 110 min y 126 min de segunda calidad (La Gaceta 2005).

El tiempo de cocción es un factor fundamental para la aceptación de una variedad de frijol por los consumidores e industriales, ya que representa economía en el tiempo de preparación y en la energía utilizada (Pérez et al. 2002). El aumento en el tiempo de cocción trae como consecuencia una menor aceptación por parte del consumidor, mayor gasto de energía y tiempo para su preparación, pérdida de valor nutritivo y en algunos casos disminución o pérdida total de su valor comercial (Mora 1982). Los tiempos de cocción prolongados provocan cambios estructurales a nivel celular como la desnaturalización de las membranas que provocan la pérdida de nutrientes (Rodrigues et al. 2005).

El tiempo de cocción es afectado por múltiples factores, como las características morfológicas y genéticas del grano, el tiempo de remojo previo a la cocción, y la temperatura de cocción (Maurer et al. 2004).

3.7 Factores que afectan el tiempo de cocción del frijol

El fenómeno del endurecimiento del grano de frijol es complejo, ya que involucra la cubierta seminal, las paredes celulares y los carbohidratos contenidos en diferentes partes de la semilla (de León et al. 1990, Reyes y Paredes 1993, Shiga et al. 2004, Stanley et al. 2007), por lo que existen varias causas que han sido propuestas para explicar los cambios del grano, a continuación se citan los más importantes:

3.7.1 Características de la cubierta seminal

La cubierta seminal, testa o tegumento es la capa externa de la semilla que protege a los cotiledones de los factores externos, como del ataque de patógenos e insectos y protege al embrión seco del daño que puede causar la rápida absorción de agua (Méndez et al. 2008). La testa constituye la primera barrera para la imbibición de la semilla de frijol y puede que durante el almacenamiento ésta se vuelva más impermeable al agua (de León et al. 1990).

La “testa dura” se define como un estado físico en el cuál las semillas son incapaces de embeber suficiente agua, debido a la impermeabilidad parcial de la testa (Muñoz et al. 2009). Otras estructuras presentes en la testa como el hilum, micrópilo y el lente regulan la absorción inicial, mientras que las otras partes de la testa pueden actuar como barreras para la imbibición (Kikuchi et al. 2006; Pérez et al. 2002).

Algunos autores relacionan la dureza del frijol con variedades que presentan testas brillantes, ya que las ceras presentes en la cubierta seminal imposibilitan la entrada del agua al interior del grano (Tapia et al. 1995, Jacinto y Campos 1993), en contraste, otros autores no encontraron asociación entre el brillo de la testa, la dureza y el tiempo de cocción de los granos (Muñoz et al. 2009).

La cubierta seminal se encuentra relacionada con la dureza del grano (Sánchez 2006), ya que está formada por cera, cutina, suberina, lignina, calosa, quininas y taninos que impiden o dificultan la absorción del agua, siendo la cutina y la suberina las que mayor impermeabilidad le confieren (Pérez et al. 2002). El grosor del tejido de empalizada de la testa es un parámetro importante en la absorción de agua (Reyes y Paredes 1993).

3.7.2 Efecto del almacenamiento

El término grano es utilizado cuando las semillas son destinadas para el consumo humano o animal y el término semilla para indicar que se utilizan para la reproducción y multiplicación de especies vegetales. Sin importar su uso final, las condiciones de almacenaje son esenciales para preservar la calidad de la semilla o del grano de frijol (Cascante 2009²).

Los factores más críticos que pueden provocar pérdidas importantes durante el almacenamiento son los altos contenidos de humedad de los granos, las altas temperaturas, la alta humedad relativa y el almacenamiento de materiales con impurezas como restos vegetales, insectos, residuos de suelo, granos dañados, entre otros (Doria 2010), aunque existen condiciones relacionadas con las características intrínsecas del grano como el color, el tamaño, la imbibición y el brillo (Jacinto et al. 2002). El envejecimiento acelerado de los granos de frijol es provocado por temperaturas altas, tanto en el secado como en el almacenamiento, lo que causa aumento en la dureza y en el tiempo de cocción, produciendo el defecto “difícil de cocinar” (Machado et al. 2009).

Los granos de frijol son almacenados con un contenido de humedad de entre 12 % y 14 %, generalmente hasta por 12 meses (Alizaga 1985). El almacenamiento durante los primeros seis meses, con un contenido de humedad de 15 % y a 25 °C, no genera problemas de endurecimiento (Mora 1982). Sin embargo, luego de los seis meses, los granos empiezan a aumentar su dureza, lo cual provoca una

disminución en la calidad y se generan alteraciones en el sabor y en el color de la testa (Oliviera et al. 2002).

Durante el almacenamiento de los granos ocurren cambios importantes en los almidones, la fibra y otros componentes del grano (Kutos et al. 2003, Vargas et al. 2004), que pueden afectar la digestibilidad y el valor nutricional (Prolla et al. 2010). Además, los granos almacenados muestran una disminución en la calidad fisiológica y una tendencia al oscurecimiento, esto incrementa la dureza y el tiempo de cocción del frijol (Ríos et al. 2003, Faroni et al. 2006, Resende et al. 2007, Nasar et al. 2009; Oliveira et al. 2011).

Algunos autores recomiendan la refrigeración (5 °C) y la baja humedad relativa (50 % - 60 %) para evitar el endurecimiento (Berrios et al. 1999), y así mantener las cualidades físico-químicas y culinarias y retrasar el envejecimiento y endurecimiento natural que sufren los granos durante el almacenamiento en condiciones ambientales (Brackmann et al; 2002, Machado et al; 2009, Rigueira et al; 2009, Oliveira et al. 2011, Schoeninger et al. 2013), y además conservar el poder germinativo de las semillas, sin embargo este método es costoso económicamente, y poco accesible en nuestras condiciones, por lo que debe analizarse la posibilidad de su uso en cada situación.

3.7.3 Contenido y características de los carbohidratos

Los carbohidratos son el principal componente de las semillas de las leguminosas (50 % - 60 %), donde los almidones y la fibra dietética son los mayores constituyentes del grano de frijol (Vargas et al. 2004). Por esta razón el endurecimiento del frijol se ha relacionado con el fenómeno "difícil de cocinar", debido a las alteraciones que ocurren con las características de gelatinización del almidón (Shiga et al. 2004).

Durante el proceso de cocción de los frijoles suaves, la pectina de la lámina media de las paredes celulares se despolimeriza por eliminación de ácidos poligalacturónicos, éste se separa de las células y como consecuencia se suavizan los tejidos (Ruiz et al. 2008). Por otra parte, los frijoles endurecidos presentan cambios en los carbohidratos y en los componentes de la pared celular y se forman nuevas interacciones entre los polímeros de la pared que pueden dificultar la separación celular, por lo que las células de los frijoles endurecidos se muestran más compactas y por consecuencia difíciles de suavizar (Shiga 2004).

Las células ubicadas en la periferia del cotiledón de las semillas endurecidas de frijol muestran mayor cantidad de almidón residual que los frijoles suaves, confirmando la baja susceptibilidad de los frijoles endurecidos a la digestión enzimática. Los gránulos de almidón endurecidos presentan mayor birrefringencia o mayor grado de cristalización, razón por la cual estos frijoles no producen un caldo espeso (García y Lajolo 1994).

3.7.4 Compuestos fenólicos

Los frijoles contienen factores antinutricionales como los compuestos fenólicos, dentro de los cuales se pueden citar la lignina, las antocianinas, los flavonoides y los taninos. Muchos de estos metabolitos secundarios se encuentran localizados en la cubierta seminal (Marles et al. 2010).

Las ligninas están relacionadas con la dureza del frijol, ya que están depositadas en las paredes celulares y juegan un papel fundamental en el soporte mecánico (Cabreras et al. 1997). Durante el almacenamiento la cantidad de ligninas tienen a aumentar y las células del cotiledón y la cubierta seminal se endurecen (Nasar et al. 2008).

Las antocianinas son otro tipo de compuestos fenólicos que guardan relación con el color del frijol. Durante el almacenamiento ocurre un oscurecimiento de la testa,

lo que podría estar relacionado con la oxidación de estos compuestos fenólicos (Oliveira et al. 2002). Sin embargo, algunos autores dudan del rol de los fenoles en el endurecimiento, ya que éste ocurre en variedades de frijol blanco que presentan baja concentración de estos compuestos (Nasar et al. 2008).

3.7.5 Capacidad de absorción de agua o imbibición

La capacidad de absorción de agua o imbibición de los granos de frijol se puede utilizar como criterio para identificar tempranamente líneas que absorban mayor cantidad de agua, ya que esta variable permite evaluar el grado de permeabilidad del grano del frijol durante el remojo y relacionarlo con el tiempo de cocción (Deshpande y Cheryan 1986, Hernández y Campos 1993, Pérez et al. 2002, Rodrigues et al. 2005, Marques et al. 2010, Mujica et al. 2011). Sin embargo, algunos autores encontraron una correlación baja entre el tiempo de cocción y la capacidad de imbibición en variedades de frijol (Jacinto et al. 2002).

En las etapas iniciales de imbibición, el agua ingresa a la semilla por el micrópilo o lente, que es una abertura de la cubierta o poro que se encuentra cerca del hilum, y permite que el agua que ingresa a la semilla se distribuya principalmente en la testa (Pérez et al. 2002). Cuando el agua llega a la radícula, ésta comienza a incorporarse a los cotiledones y aumentan de tamaño. Estos procesos durante la imbibición son fisiológicamente diferentes, y se han estudiado separándolos mediante la localización del agua en diversos tejidos (Kikuchi et al. 2006).

El tiempo de cocción puede incrementarse principalmente por dos procesos que se encuentran relacionados con la absorción de agua por parte de las semillas. El primero está relacionado con la testa dura, posiblemente por la baja permeabilidad de la testa, que ocurre cuando a las semillas no absorben suficiente agua durante la cocción (Mederos 2006). El segundo proceso es llamado "hard-to-cook" o "difícil de cocinar", durante el cual las semillas sí absorben agua, pero los cotiledones no se ablandan durante el tiempo de cocción

por lo que este tiempo se alarga (Paredes et al. 1989, Gross y Kigel 1999, García et al. 2009).

Es necesario que el grano absorba suficiente cantidad de agua para que ocurran los cambios físicos y químicos asociados a la cocción, tales como hinchamiento y gelatinización de los gránulos de almidón (de León et al. 1990). Estos efectos puede deberse a que al absorber agua se producen una serie de procesos fisiológicos, como cambios en la composición y estructura del cotiledón, lo que desencadena una mayor suavidad del grano (Quenzer et al. 1978).

Los frijoles que presentan la testa dura necesitan energía extra para su cocción, durante este proceso disminuyen las cualidades nutricionales de los contenidos de proteínas, de grasas y de minerales (Nasar et al. 2008). El remojo previo puede reducir el tiempo de cocción, el gasto de electricidad o gas y esta práctica es recomendada para las poblaciones de bajos ingresos (Marques et al. 2010).

El remojo consiste en la hidratación de las semillas antes de su cocción, con o sin desechar el agua de remojo, los resultados van a depender de varios factores como el tipo de leguminosa, la especie y la variedad, además de la duración de proceso, la temperatura, el pH, la salinidad del medio de cocción y las condiciones de almacenamiento previas al proceso (Carmona et al. 2007, Rehman et al. 2001).

3.8 Generalidades del estrés abiótico

Existen muchos factores ambientales que pueden causar en las plantas trastornos o "enfermedades no infecciosas" o de origen abiótico, conocidas también como "enfermedades fisiológicas", que interfieren en los procesos metabólicos y morfogenéticos normales, provocando alteraciones morfológicas y fisiológicas (Agrios 2006, Vaahtera y Brosché 2011). Dentro de las fuentes de estrés abiótico más importantes en los agroecosistemas tropicales se pueden citar la sequía,

usualmente acompañada por temperaturas extremas, la baja fertilidad (particularmente baja disponibilidad de N y P), la acidez de los suelos, la salinidad, los contaminantes ambientales y los cambios en la intensidad o la calidad de la luz (Vaahtera y Brosché 2011). Existen otros tipos de estrés abiótico provocados por toxicidad a agroquímicos, por contaminación ambiental, por exposición a contaminantes como: ácido fluorhídrico, dióxido de azufre, etileno, los óxidos de nitrógeno, el ozono y el nitrato de peroxiacetilo (Arauz 2011).

La cantidad de agua disponible en el suelo es uno de los factores más limitantes en la agricultura. Las plantas son capaces de tolerar el déficit hídrico mediante ajustes en el potencial hídrico y la capacidad de ajuste osmótico para mantener la turgencia de las células (Martínez et al. 2007), estos ajustes guardan relación con los procesos de transpiración y de flujo de agua a través del sistema vascular de las plantas (Barrios et al. 2011). El déficit hídrico genera alteraciones fisiológicas como el cierre de los estomas, que son las estructuras responsables de la mayor pérdida de agua por parte de las plantas (Taiz y Zeiger 2006).

Las plantas bajo estrés hídrico presentan reducciones del índice de área foliar, aumento del crecimiento radical, movimientos paraheliotrópicos de las hojas, enrollamiento de las hojas y culmina en muchos casos en abscisión o necrosis de las hojas (Dalla et al. 2003). En el caso del frijol común, la tolerancia a la sequía depende del mantenimiento del transporte de asimilados hacia la cosecha y la conservación de un alto índice de cosecha, aunque los procesos fisiológicos subyacentes responsables de esta respuesta no han sido determinados (Costa et al. 2000, Rosales et al. 2004).

Las temperaturas altas causan una aceleración de las etapas de desarrollo de las plantas, afectan la productividad de los cultivos y todos los procesos fisiológicos, provocan daños a nivel celular, en las estructuras y composición de las membranas, inhibición de la tasa de asimilación de CO₂, la síntesis de proteínas, la respiración y la conductancia estomática (Lambrevia et al. 2005). Las altas

temperaturas pueden aumentar los efectos del estrés hídrico, ya que se reduce la cantidad de fotoasimilados producidos y limitan la habilidad de las plantas de ajustar osmóticamente las células durante el incremento del déficit hídrico (McDonald y Paulsen 1997). El frijol común es poco tolerante a las altas temperaturas, ya que el crecimiento en lugares donde predominen temperaturas mayores a los 27 °C, se manifiesta en las plantas como un incremento de las tasas de respiración en relación con la tasa fotosintética (Rosas et al. 2000).

Las limitaciones nutricionales generan un crecimiento deficiente en las plantas, ya que en ausencia o exceso de uno o más elementos se pueden mostrar síntomas visibles de deficiencias y desbalances nutricionales. Estos desbalances pueden generar interacciones sinérgicas o antagónicas entre elementos (Henry et al. 2010).

El frijol es cultivado por lo general en suelos de baja fertilidad, especialmente con bajos niveles de fósforo (Ho et al. 2005). Los genotipos de frijol se han adaptado a la baja disponibilidad de fósforo mediante modificaciones estructurales de las raíces en las capas superficiales del suelo, donde se presenta la mayor disponibilidad de este elemento (Lynch y Beebe 1995, Ho et al. 2005).

El déficit hídrico, las altas temperaturas, los desórdenes nutricionales y la salinidad, han sido estudiados de manera individual, aunque en el campo los cultivos sufren de estreses múltiples que operan de manera simultánea, donde interacciones de dos o más factores pueden generar efectos aún más complejos y difíciles de enfrentar (Vile et al. 2012). La combinación de estreses puede ser considerados como un nuevo estado del estrés abiótico y las plantas cultivadas podrían requerir nuevas defensas, respuestas de aclimatización y prácticas agrícolas diseñadas para enfrentar estos complejos abióticos, que se espera que se agraven ante las incertidumbres impuestas por el cambio climático contemporáneo (Vile et al. 2012). Las plantas en condiciones de estrés abiótico muestran debilitamiento de las defensas y se vuelven más susceptibles a

enfermedades de tipo biótico (plagas y patógenos), lo que es conocido como predisposición (Mittler 2008).

En el cultivo de frijol, es común que los estreses causados por déficit hídrico y altas temperaturas se presenten en forma simultánea, frecuentemente acompañados por alta radiación, en las etapas fenológicas más sensibles de la planta provocando disminución del rendimiento (Jiang y Huang 2001). La calidad final de las semillas de frijol es mediada en gran parte por las condiciones climáticas variables antes y durante la formación de las mismas y hasta el punto de cosecha (Muasya et al. 2008).

Las altas temperaturas son una gran limitante en la producción de frijoles, ya que restringen la adaptación geográfica y la zonificación del cultivo. Las condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa durante el establecimiento del número de semillas disminuyen la producción, debido a que las temperaturas nocturnas altas son más perjudiciales que las altas temperaturas del día (Sing 2005). Las altas temperaturas y la baja disponibilidad de agua durante el inicio de la floración, el inicio de crecimiento de las vainas y el llenado del grano disminuyen considerablemente el rendimiento y calidad de la semilla de frijol (Rainey y Griffiths 2005). Además provocan la caída de flores y la formación de menos vainas (Gross y Kigel 1999).

Entre la madurez fisiológica y el punto de cosecha, ocurre un proceso de secado durante el cual las fuertes lluvias pueden provocar daño en el embrión debido a la absorción de agua por parte de la semilla y la germinación en la planta, debido a la ausencia de latencia en las semillas del frijol (Muasya et al. 2008). Los altos contenidos de agua en el momento de la cosecha y las altas temperaturas durante el secado del grano, sumado a las prácticas inadecuadas de almacenamiento, pueden provocar características no deseadas en la calidad final del frijol, tales como endurecimiento, pérdida de poder germinativo y de vigor (Faroni et al. 2006). Algunos autores han determinado que las altas temperaturas

de secado disminuyen las características fisiológicas del grano de frijol independientemente de su contenido de humedad (Faroni et al. 2006, Resende et al. 2007).

3.9 Cambio climático y el cultivo del frijol

El cambio climático puede involucrar alteraciones ambientales como el aumento de la concentración del CO₂ atmosférico, lo cual podría generar un efecto de fertilización con carbono, beneficioso para plantas C₃ con alta fotorespiración bajo estrés, como el frijol. Desafortunadamente, el aumento del CO₂ atmosférico va acompañado de incrementos de las temperaturas mundiales y el aumento o disminución de la precipitación (Villalobos y Retana 1999). Estos posibles escenarios provocarían cambios en la zonificación agrícola y en las prácticas agronómicas, afectando la productividad de los cultivos, además producirían alteraciones en la duración de los ciclos de los cultivos y alteraciones fisiológicas (Watson et al. 1997).

El calentamiento global puede provocar importantes pérdidas a los productores de frijol, ya que los mayores rendimientos se dan en zonas con temperaturas entre 18 °C y 24 °C, mientras que las temperaturas mayores a 27 °C producen caída de flores y reducen el número de granos en la vaina (White 1985). Como regla general se establece que por cada grado Celsius que aumente la temperatura se genera una disminución del 10 % en el rendimiento de los cultivos (Boote et al. 2005).

Durante el crecimiento reproductivo, las altas temperaturas reducen la viabilidad del polen, el crecimiento del tubo polínico y la fertilización del ovario, además se acorta el periodo de crecimiento de los órganos reproductores y causan excesivo aborto de flores y vainas jóvenes (Leport et al. 2006), aceleran el llenado del grano, reducen el número de semillas por vaina, el tamaño de la semilla y el rendimiento (Boote et al. 2005).

El aumento de las concentraciones de CO₂ supondrá el favorecimiento en el crecimiento de las plantas, sin embargo este efecto pudo haber sido exagerado en el pasado (Villalobos y Retana 1999). Durante la fotosíntesis las plantas captan las moléculas de CO₂ y con ayuda de la energía de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) fabrican los carbohidratos, pero por cada molécula de CO₂ se pierden entre 100 y 400 moléculas de agua (Taiz y Zieger 2006). Si existen limitaciones de agua, luz y/o elementos nutricionales, particularmente de nitrógeno y fósforo, los cultivos no podrán experimentar el aumento del crecimiento bajo la fertilización con CO₂ (Bazzaz y Fajer 1992).

En un cultivo de ciclo corto como es el frijol, los períodos cortos de déficit hídrico pueden disminuir el crecimiento vegetativo, afectar la floración y la formación de vainas (Laing et al. 1984). Este cultivo necesita la mayor cantidad de agua al inicio del ciclo vegetativo y es conveniente que esta cantidad disminuya para las etapas finales cercanas a la maduración y la cosecha. Las fuertes lluvias pueden provocar pérdidas durante la floración y volcamiento de las plantas, por lo que los cambios en los patrones de precipitación pueden afectar la producción debido a la distribución irregular de la cantidad de agua durante el ciclo del cultivo de frijol (Monge 1981).

El cambio climático puede presentar ya efectos perjudiciales sobre los cultivos, probablemente la temperatura que permite obtener los mayores rendimientos en el cultivo de frijol y otros ya ha sido superada, en especial en los lugares más cálidos (Ordaz et al. 2010).

3.10 Literatura citada

- Acosta, E; Acosta, J; Amador, M; Padilla, J. 2008. Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. *Agricultura Técnica en México* 34(1):13-20.
- Aguilera, J; Hau, M; Villablanca, W. 1986. The effect of solar drying and heating on the hardness of *Phaseolus* beans during storage. *Journal of Stored Products Research* 22(4):243-247.
- Agrios, G. 2006. *Plant pathology*. 5 ed. USA. Elsevier. 948 p.
- Alizaga, R. 1985. Efecto de la temperatura de secado y del contenido de humedad durante el almacenamiento sobre la calidad de la semilla de frijol. *Agronomía Costarricense* 9(2):165-170.
- Arauz, F. 2011. *Fitopatología: Un enfoque agroecológico*. 2 ed. San José. C.R. Editorial Universidad de Costa Rica. 541 p.
- Barrios, E; López, C; Kohashi, J. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "Flor de Mayo". *Agronomía Costarricense* 35(1):131-145.
- Bazzaz, F; Fajer, E. 1992. La vida de las plantas en un mundo enriquecido en CO₂. *Investigación y Ciencia* 186:6-13.
- Berrios, J; Swanson, B; Cheong, A. 1999. Physico-chemical characterization of stored black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Research International* 32(10):669-676.
- Blanco, A; Bressani, R. 1991. Biodisponibilidad de aminoácidos en el frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Arch. Latinoam. Nutr.* 41(1):38-52.
- Boote, K; Allen, L; Prasad, P; Baker, J; Gesch, R; Snyder, A; Pan, D; Thomas, J. 2005. Elevated temperature and CO₂ impacts on pollination, reproductive growth, and yield of several globally important crops. *Journal of Agricultural Meteorology Japan* 60(5):469-474.
- Brackmann, A; Neuwald, A; Ribeiro, R; Freitas, T. 2002. Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. *Ciência Rural* 32(6):911-915.

- Cabrerias, M; Pérez, E. Maina, G; Waldron, K. 1997. Changes in physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) during long-term storage. J. Agr. Food Chem. 45(8):3223-3227.
- Carmona, R; Osorio, P; Agama, E. Tovar, J. Bello, L. 2007. Composition and effect of soaking on starch digestibility of *Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Mayocoba'. International Journal of Food Science and Technology 42(3): 296–302.
- Cascante¹, J. 2009. Producción de frijol para autoconsumo. Hoja divulgativa. SEPSA-MAG. San José CR. 2 p.
- Cascante², J. 2009. Secado y almacenamiento de granos básicos. Hoja divulgativa. SEPSA-MAG. San José CR. 2 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. 1984. Morfología de la planta de frijol común. Eds. Debouck, D y Hidalgo, R. 2 ed. Cali. CO. CIAT. 56 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. 1986. Stages of development of the common bean plant. Eds. Fernandez, F; Gepts, P; Lopez, M. Cali. CO. CIAT. 32 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. 1991. Common bean: Research for crop improvement. Eds. Van, A; Voysest, O. Cali, CO. CIAT. 992 p.
- Clavijo, J; Bhakta, M; Gezan, S; Boote, K; Vallejos, E. 2013. From flower to seed: identifying phenological markers and reliable growth functions to model reproductive development in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant, Cell and Environment 36(11):2046-2058.
- Costa, M; Pham, A; Pimentel, C; Pereyra, R; Zuily, Y; Laffray, D. 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. Environmental and Experimental Botany 43(3):227-237.
- Dalla, A; Moda, V; dos Santos, M; Destro, D. 2003. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. Crop Breeding and Applied Biotechnology 3(3):193-202.

- de Almeida, G; da Silva, K; Machado, S; Costa, A. 2006. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common vigan, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry* 94(3):327-330.
- de León, L; Bressani, R; Elías, L. 1990. Efecto de la cáscara sobre el mecanismo de endurecimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*). Resultados preliminares. *Agronomía Mesoamericana* 1(1):87-91.
- Deshpande, S; Cheryan, M. 1986. Water uptake during cooking of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Food for Human Nutrition* 36(3):157-165.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: Su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31(1):74-85.
- Egli, F. 1998. *Seed biology and the yield of grain crops*. CAB International, Wallingford. 178 p.
- FAO. 1990. Utilización de alimentos tropicales: frijoles tropicales. Estudio FAO Alimentación y Nutrición. Serie Cuadernos Técnicos de la FAO 47/4. Roma Italia. 80 p.
- Faroni, L; Cordeiro, I; Alencar, E; Rozado, A; Alves, W. 2006. Influência do conteúdo de umidade de colheita e temperatura de secagem na qualidade do feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10(1):148-154.
- Galván, M; Kohashi, J; García, A; Yáñez, P; Martínez, E; Ruiz, L. 2003. Déficit hídrico en planta, acumulación de biomasa y área foliar en tres etapas vegetativas en frijol común. *Agricultura Técnica en México* 29(2):101-111.
- García, E; Lajolo, F. 1994. Starch alterations in Hard-To-Cook Beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Agri. Food Chem.* 42(3):612-615.
- García, J; Meirelles, J; Guidolin, A; da Rocha, F. 2009. Tempo de cocção de grãos de feijão em função de doses de fósforo no plantio e do tempo de armazenamento. *Biotemas* 22(1):39-47.
- Gepts, P; Osborn, T; Rashka, K; Bliss, F. 1896. Phaseolin-protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Evidence for multiple centers of domestication. *Economic Botany* 40(4):415-468.

- Gross, Y; Kigel, J. 1994. Differential sensitivity to high temperature of stages in the reproductive development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research* 36(3):201-212.
- Gutiérrez, M; Pérez, D; Márquez, A; Segovia, V; Marín, C. 2004. Prospección y recolección de materiales nativos del género *Phaseolus* en la zona nororiental y andina de Venezuela. *PGR Newsletter* 140:32-41.
- Gutiérrez, M; Chaves, N; Hernández, J; Araya, R; Ureña, D. 2009. Ambientes protegidos para el almacenamiento temporal y el secado del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el campo. *Agronomía Mesoamericana* 20(2):255-262.
- Henry, A; Rosa, J; Beaver, J; Lynch, J. 2010. Multiple stress response and belowground competition in multilines of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research* 117(2-3):209-218.
- Hernández, C; Campos, A. 1993. Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomía Mesoamericana* 4:42-47.
- Ho, M; Rosas, J; Brown, K; Lynch, J. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Functional Plant Biology* 32(8):737-748.
- IICA. 2009. Guía técnica para el cultivo del frijol. ASOPROL. Nicaragua. 28 p.
- INTA. 2008. Manual de recomendaciones técnicas. Cultivo de frijol. San José. Costa Rica. 82 p.
- Jacinto, C; Campos, A. 1993. Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomía Mesoamericana* 4(1):42-47.
- Jacinto, C; Hernández, H; Azpíroz, H; Acosta, J; Bernal, I. 2002. Caracterización de una población de líneas endogámicas de frijol común por su calidad de cocción y algunos componentes nutrimentales. *Agrociencia* 36(04):451-459.
- Jiang, Y; Huang, B. 2001. Drought and heat stress injury to two cool season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science* 41(2):436-442.
- Kigel, J. 1999. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 3(4):205-209.

- Kikuchi, K; Koizumi, M; Ishida, N; Kano, H, 2006. Water uptake by dry beans observed by micro-magnetic resonance imaging. *Annals of Botany* 98(3):545-553.
- Kutos, T; Golob, T; Kac, M; Plestenjak, A. 2003. Dietary fiber content of dry and processed beans. *Food Chemistry* 80(2):231-235.
- Laing, D; Jones, P; Davis, J. 1984. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *The Physiology of Tropical Field Crops*. New York. 352 p.
- Lambrevia, M; Stoyanova, D; Baldjiev, G; Tsonev, T. 2005. Early acclimation changes in the photosynthetic apparatus of bean plants during short-term exposure to elevated CO₂ concentration under high temperature and light intensity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106(2-3):219-232.
- Leport, L; Turner, N; Davies, S; Siddique, K. 2006. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *European Journal of Agronomy* 24(3):236-246.
- Lynch, J; Beebe, S. 1995. Adaptation of beans (*Phaseolus vulgaris*) to low phosphorus availability. *Horticultural Science* 30(6):1165-1171.
- Lynch, J; Brown, K. 2001. Topsoil foraging- an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil* 237(2):225-237.
- Lyndon, R (ed). 1992. The environmental control of reproductive development. 9-32. En "Fruit and seed production: Aspects of development, environmental physiology and ecology, Marshall, C; Grace, J (eds). Cambridge University Press. 256 p.
- Machado, S; Prudencio, S; Pereira, L; Rolin, C. 2009. Alterações no tempo de cozimento e textura dos grãos de feijão comum durante o armazenamento. *Cienc. Agrot. Lavras*. 33(2):539-544.
- Marles, S; Balasubramanian, P; Bett, K. 2010. Differential accumulation of polyphenolics in black bean genotypes grown in four environments. *Agricultural and Food Chemistry* 58(11):7001-7006.
- Marques, M; Jaeger, L; Regina, M; Viana, J; Hohn, A; Gomes, E. 2010. Water absorption, hard shell and cooking time of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Food Science and Technology* 1(1):13-20.

- Martínez, J; Silva, H; Ledent, J; Pinto, M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy* 26(1):30-38.
- Maurer, G; Banu, F; Ozen, L; Mauer, S; Nielsen, S. 2004. Analysis of Hard-to-cook red and black common beans using Fourier transform infrared spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 52(6):1470-1477.
- McDonald, G; Paulsen, G. 1997. High temperature effects of photosynthesis and water relations of grain legumes. *Plant and Soil* 196(1):47-58.
- Mederos, Y. 2006. Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales* 27(3):55-62.
- Méndez, J; Merazo, J; Montaña, N. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). *Revista UDO Agrícola* 8(1):61-66.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarentena y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Dirección de Investigaciones y Extensión Agrícola. 560 p.
- Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC); Ministerio de Salud (S); Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2005. Decreto Ejecutivo N°32149-MEIC-S-MAG. Reglamento Técnico RTCR 384:2004 Frijol en Grano. *La Gaceta. Diario Oficial (CR)*. Enero. 3:2-6.
- Mittler, R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* 11(1):15-18.
- Monge, L. 1981. *Cultivos Básicos*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 219-260 p.
- Mora, M. 1982. Influencia de diferentes temperaturas y contenidos de humedad sobre el tiempo de cocción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) almacenado durante 18 meses. *Agronomía Costarricense* 6(1/2):87-89.

- Mora, M. 1989. Comparación del tiempo de cocción de ocho cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit 22(2):32-36.
- Muasya, R; Lommen, W; Muui, C; Struik, P. 2002. Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pod fractions within a crop I. Seed growth and maturity. Field Crop Research 75(1): 63-78.
- Muasya, R; Lommen, W; Muui, C; Struik, P. 2008. How weather during development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) affects the crops maximum attainable seed quality. NJAS Wageningen Journal of Life Sciences 56(1-2):85-100.
- Mujica, M; Granito, M; Soto, N. 2011. Propiedades físicas y calidad de cocción de leguminosas cultivadas en Venezuela. Revista Facultad de Agronomía Luz 28(1):104-122.
- Muñoz, E; Rubio, E; Bernal, D; Garza, I; Jacinto, C. 2009. Caracterización de genotipos nativos de frijol del estado de Hidalgo, con base a calidad del grano. Agricultura Técnica en México 35(4): 429-438.
- Nasar, S; Plummer, J; Siddique, K; White, P; Harris, D; Dods, K. 2008. Cooking quality of faba bean after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. Food Science and Technology 41(7):1260-1267.
- Nasar, S; Siddique, K; Plummer, J; White, P; Harris, D; Dods, K; D'antuono, M. 2009. Faba bean (*Vicia faba* L.) seeds darken rapidly and phenolic content falls when stored at higher temperature, moisture and light intensity. Food Science and Technology 42(10):1703-1711.
- Oliveira, A; Patto, C; Duarte, A. 2002. Efeitos de época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Ciência e Agrotecnologia 26(3):550-558.
- Oliveira; A, Patto, C; Duarte, A. 2003. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). Ciencia e Tecnología de Alimentos 23:39-45.

- Oliveira, V; Ribeiro, N; Maziero, S; Cargnelutti A; Jost, E. 2011. Qualidade para o cozimento e composição nutricional de genótipos de feijão com e sem armazenamento sob refrigeração. *Ciencia Rural* 41(5):746-751.
- Ordaz, J; Ramírez, D; Mora, J; Acosta, A; Serna, B. 2010. Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura. CEPAL. 76 p.
- Paredes, O; Maza, E; González, J: 1989. Effect of the hardening phenomenon on some physicochemical properties of common bean. *Food Chemistry* 31(3):225-236.
- Pérez, P; Esquivel, G; Rosales, G; Acosta, J. 2002. Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 52(2):172-180.
- Prolla, I; Barbosa, R; Veeck, A; Augusti, P; da Silva, L; Ribeiro, N. 2010. Cultivar, harvest year, and storage conditions affecting nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* 30(1):96-102.
- Programa Regional de Reforzamiento de la Investigación Agronómica (PRIAG). 1996. Después de la cosecha maneje correctamente el frijol. Manejo Poscosecha. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. 8 p.
- Quenzer, M; Huffman, V; Burnan, E.1978. Some factors affecting pinto beans quality. *Journal of Food Science* 43(4):1059-1061
- Rainey, K; Griffiths, P. 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130 (1):18-23.
- Rehman, Z; Salariya, M; Zafar, S. 2001. Effect of processing on available carbohydrate content and starch digestibility of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Food Chemistry* 73(3):351-355.
- Reyes, C; Paredes, O. 1993. Hard to cook phenomenon in common beans a review. *Food Sci. Nutr.* 33(3):227-286.
- Rigueira, A; Lacerda, F; Volk, S. 2009. Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado. *Alimentos e Nutrição* 20(4): 649-655.

- Ríos, A; Abreu, P; Correa, D. 2003. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L). *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 23(1):39-45.
- Rodrigues, J; Dalfollo, N; Medianeira, P; Cargnelutti, F; Camacho, D. 2005. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. *Ciencia Rural* 35(1):209-214.
- Rosales, R; Kohashi, J; Acosta, J; Trejo, C; Ortiz, J; Kelly, J. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Research* 85(2-3):203-211.
- Rosas, J; Castro, A; Beaver, J; Pérez, C; Morales, A; Lepiz, R. 2000. Mejoramiento genético para tolerancia a altas temperaturas y resistencia a mosaico dorado en frijol común. *Agronomía Mesoamericana* 11(1):1-10.
- Ruiz, J; Martínez, A; Drago, S; González, R; Betancur, D; Chel, L. 2008. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *Food Science and Technology* 41(10):1799-1807.
- Salazar, J. 1997. Caracterización de la producción de frijol en Costa Rica: propuesta ante la globalización de la comercialización. In *Mesa Redonda de Pos-cosecha de Granos*. Colombia. 94 p.
- Sánchez, P. 2006. Búsqueda de un método práctico, rápido y barato para medir la dureza del frijol. *Memorias IX Taller de resultados de investigación y transferencia de tecnología. PITTA-FRIJOL*. 9 p.
- Schoeninger, V; Machado, S; Paloschi, C; Vieira, N. 2013. Qualidade físico-química e tempo de cozimento de grãos de feijão novos e envelhecidos em condições de armazenamento refrigerado. *Varia Scientia Agrarias* 3(2):55-65.
- SEPSA, FAO. 2006. Estudio de Competitividad del frijol en Costa Rica con la metodología de la matriz de análisis de política (MAP). Costa Rica. 84 p.
- Shiga, T; Lajolo, F; Filisetti, T. 2004. Changes in the cell wall polysaccharides during storage and hardening of beans. *Food Chemistry* 84(1):53-64.

- Singh, S; Jauhar, P. 2005. Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement: Grain Legumes, Volumen 1. Florida, USA. Taylor & Francis. 396 p.
- Stanley, D; Michaels, T; Plhak, L; Caldwell, K. 2007. Storage induced hardening in 20 common bean cultivars. *Journal Food Quality* 13(4):233-247.
- Taiz, L; Zieger, E. 2006. *Plant Physiology*. 4 ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 1338 p.
- Tapia, B; López, S; Estrada, B. 1985. Evaluación de un método para reducir el tiempo de cocción en frijol común. *Memorias de la XXXI Reunión Anual del PCCMCA*. Honduras. 67 p.
- Turner, N; Kramer, P. 1980. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. US. Wiley-Interscience. 482 p.
- Vaahtera, L; Brosché, M. 2011. More than the sum of its parts – How to achieve specific transcriptional response to abiotic stress. *Plant Science* 180(3):421-430.
- Vargas, A; Osorio, P; Islas, J; Tovar, j; Paredes, O; Bello, L. 2004. Starch digestibility of five cooked black bean (*Phaseolus vulgaris L.*) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis* 17(5):605-612.
- Vile, D; Pervent, M; Belluau, M; Vasseur, F; Bresson, J; Muller, B; Granier, C; Simonneau, T. 2012. Arabidopsis growth under prolonged high temperature and water deficit: independent or interactive effects? *Plant Cell and Environment* 35(4): 702-718.
- Villalobos, R. Retana, J. 1999. Evaluación del impacto del cambio climático sobre la producción agrícola de Costa Rica. Caso de estudio: Frijol. Ministerio de Ambiente y Energía. Instituto Meteorológico Nacional. San José. Costa Rica. 19 p.
- Watson, R.; Zinyowera, M.; Moss, R.; Dokken, D. 1997. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Summary for policymakers. Report of IPCC Working Group II. 16 p.
- White, J. 1985. *Conceptos básicos de fisiología del frijol*. Investigación y Producción. CIAT. Cali. Colombia. 53 p.

IV. Capítulo I

Efecto del almacenamiento tradicional sobre el tiempo de cocción y la imbibición de los granos de ocho variedades de frijol común

4.1 Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del almacenamiento sobre el tiempo de cocción y la imbibición de los granos de ocho variedades de frijol común, durante un año. Se sembraron en el campo las ocho variedades de frijol y se realizó la cosecha durante la madurez, a finales de la época lluviosa. Las evaluaciones se iniciaron cuando los granos contaban con un porcentaje de humedad de 15 %. Se evaluó el tiempo de cocción y la imbibición durante un año de almacenamiento. Se observaron diferencias en cocción entre las variedades de frijol negro y rojo durante el almacenamiento; las rojas presentaron mayor endurecimiento que las negras. Las variedades negras, con excepción de la negra brillante presentaron mayor velocidad de imbibición en comparación con las rojas. La imbibición no varió a lo largo del año de almacenamiento para UCR55, Matambú ni Guaymí. La dinámica de la imbibición fue un indicador del tiempo de cocción de los granos de frijol, ya que los promedios de ambas variables presentaron una relación del 74%. Las variedades que mostraron altos porcentajes de imbibición se cocinaron en menos tiempo. Según el modelo de imbibición a través del año de almacenamiento, el parámetro H_0 o la humedad del grano en base seca a la hora 0 disminuyó en todas las variedades, excepto en Tayní, el H_{max} o el valor máximo al que tiende la imbibición conforme pasan las horas y k o la pendiente de la curva o velocidad de imbibición disminuyeron en todas las variedades, por lo que las variedades con el pasar del tiempo embebían más lento y alcanzaban valores menores de imbibición máxima. Los resultados demuestran que la cubierta seminal es una importante barrera física durante la imbibición, especialmente en las variedades rojas y la negra brillante.

4.2 Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los principales granos básicos en Centroamérica y Costa Rica, ya que constituye una de las fuentes más importantes de proteína vegetal, consumidos por la población de bajos ingresos económicos (Pastor y Schwartz 1994). En el país solo se produce el 20 % del grano que se consume, el resto se exporta de otros países, como China y Nicaragua (SEPSA-FAO 2006).

La producción de frijol enfrenta varias limitaciones en el campo, como las enfermedades causadas por hongos, bacterias y virus, además de las plagas de insectos, las deficiencias nutricionales y la falta de agua durante el desarrollo del cultivo (Araya y Gutiérrez 2015, MAG 1991). Luego de la cosecha, las pérdidas se presentan debido al manejo inadecuado de los granos, como el secado a altas temperaturas y la disminución rápida del contenido de humedad, como consecuencia de esto, aumenta el tiempo de cocción, disminuye la calidad y el precio del frijol (Mora 1982 y 1989).

La mayoría de los pequeños productores almacenan los frijoles dentro de sacos en lugares secos (Rosas 2003), y éstos pueden permanecer algunos meses en bodegas para su posterior comercialización, por lo que las condiciones inadecuadas de almacenamiento pueden producir un rápido deterioro de los granos (Araya y Gutiérrez 2015, Mora 1982, Reyes et al. 2000). Durante el almacenamiento es necesario contar con las condiciones óptimas de temperatura, humedad relativa y además se debe evitar un excesivo grado de humedad en el grano y la presencia de insectos e impurezas, ya que estos factores pueden disminuir la calidad y la vida útil del frijol (Araya y Gutiérrez 2015, Oliveira 2002, Blandón 2010).

El almacenamiento prolongado o en condiciones inadecuadas puede generar en los granos de frijol oscurecimiento u oxidación de la testa, y el endurecimiento

relacionado con la gelatinización de los almidones, la desnaturalización de las proteínas y cambios en los componentes de las paredes celulares (Liu 1995, Shiga et al. 2004). La dureza del frijol puede ser de origen genético y se conocen dos factores que pueden causar una cocción lenta: la testa dura, que describe un estado físico en el cual las semillas son incapaces de embeber suficiente agua debido a la impermeabilidad parcial de la misma, y la dureza a la cocción que se refiere a la textura del cotiledón (Liu 1995, Reyes et al. 2000).

El tiempo de cocción es uno de los parámetros de calidad más importantes del grano, y se define como el tiempo requerido para cocinar el 96 % de una muestra de frijoles (Muñoz et al. 2009). Éste está influenciado por diversos factores como las condiciones climáticas, las altas temperaturas, la variedad, las prácticas del cultivo, el manejo poscosecha, las condiciones de almacenamiento y la tecnología de procesamiento (Liu 1995, Bertoldo et al. 2009, Dalla et al. 2003). Otros factores como el porcentaje de testa, las dimensiones y la imbibición de los granos son indicadores de la calidad de los frijoles (Mederos 2006).

La absorción de agua o imbibición de los granos de frijol se ha utilizado como criterio para identificar tempranamente líneas que absorban mayor cantidad de agua, ya que esta variable permite evaluar el grado de permeabilidad del grano durante el remojo y relacionarlo con el tiempo de cocción (Deshpande y Cheryan 1986, Mujica et al. 2011). Se ha reportado que existe una relación directa entre el porcentaje de absorción de agua y el tiempo de cocción (Castellanos 1994, Jacinto y Campos 1993).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del almacenamiento tradicional sobre el tiempo de cocción y la imbibición de ocho variedades de frijol común negras y rojas, durante un año.

4.3 Materiales y métodos

Lugar y período de la investigación

Esta investigación se inició en junio del año 2012 con la siembra de todas las variedades, y las evaluaciones se realizaron a finales de la época lluviosa entre setiembre del 2012 hasta setiembre del 2013, en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica, ubicada en el distrito San José de Alajuela, a 840 msnm. La precipitación anual en promedio es de 1840 mm distribuidos de mayo a noviembre, y la temperatura anual promedio es de 22 °C.

Se sembraron parcelas de ocho variedades de frijol (Cuadro 2) y se realizó la cosecha durante la madurez, para luego secar los granos entre 14 % y 16 % de contenido de humedad. Los granos se almacenaron durante un año en sacos limpios, en una bodega de 20 m², sobre tarimas de madera, bajo condiciones de temperatura y humedad ambiental.

Las pruebas de cocción y de imbibición se realizaron cada 15 días hasta los primeros tres meses de almacenamiento, después de los tres meses se hicieron mensualmente hasta los seis meses, y finalmente a los nueve y doce meses de almacenado el grano, para un total de 11 evaluaciones durante el año.

Mediciones ambientales en el interior de la bodega de almacenamiento

Se utilizaron medidores de temperatura y humedad (Onset Computer Corporation, modelo U23 Prov v2, Bourne, MA, EUA) programados para registrar los promedios de los datos del aire de la bodega en intervalos de 10 minutos. Se midieron la temperatura y humedad interna de los sacos de frijol durante seis días diferentes entre enero y febrero del 2013.

Propiedades físicas

Se pesaron cuatro muestras de 100 granos de cada variedad, y se midieron las dimensiones del grano largo, ancho y grosor de muestras de 10 granos. Se calculó el volumen de manera indirecta por medio del agua desplazada de una muestra de 100 granos de frijol, partiendo de un volumen conocido de agua (Muñoz et al. 2009, Mujica et al. 2011). Estas mediciones se realizaron en frijol nuevo, durante el primer mes de almacenamiento.

Porcentaje de testa

Se determinó el porcentaje de la testa durante el primer mes de almacenamiento a todas las variedades. Se tomaron cuatro repeticiones de 25 granos después de una hora de remojo y se separaron las cubiertas seminales de los cotiledones cuidadosamente con ayuda de un bisturí, luego se secaron las testas y los cotiledones en el horno durante 72 horas a 80 C° (Pérez et al. 2002). Finalmente, se pesaron las partes por separado y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de testa (\%)} = \frac{\text{Peso de testa seca}}{\text{Peso seco de los granos completos}} \times 100$$

Pruebas de cocción

La humedad de los granos se determinó con un medidor portátil de humedad y temperatura (DICKEY-john Corporation, Mini GAC, Auburn IL, EUA) para granos, semillas y cereales, y las pruebas de cocción se realizaron según lo establecido en el decreto N° 32149 MEIC-S-MAG, publicado en La Gaceta N° 3 del 5 de enero del 2005, el análisis fue realizado a 840 msnm.

Antes de realizar cada prueba de cocción, se tomaron cuatro muestras de 500 g al azar de las variedades de frijol. Durante la prueba se utilizó una cocina de gas

con cuatro quemadores, sobre la cual se colocaron ollas de 4 L de capacidad con 1,5 L de agua que se llevaron a ebullición. Se agregaron 500 g de frijoles y cuando el agua volvió a hervir fue considerado como el tiempo cero. Las evaluaciones se realizaron a los 65, 80, 95, 110 y 126 min como lo establece la norma. El tiempo de cocción se estableció cuando la muestra obtuvo el 96 % de los frijoles cocidos.

Para la evaluación del tiempo de cocción se tomó una muestra de 50 frijoles de cada olla y se presionaron uno por uno entre los dedos índice y pulgar. Los frijoles que se aplastaron con facilidad y no presentaron grumos duros se consideraron cocidos.

Prueba de imbibición o absorción de agua

Para medir la imbibición o absorción de agua de las variedades de frijol, se pesaron cuatro muestras de 100 granos, luego se colocaron en platos de Petri con 50 ml de agua, con dos capas de papel absorbente en el fondo y una capa encima de los granos. Cada hora se retiraron los granos del plato de Petri y se eliminó cuidadosamente el exceso de agua con papel toalla para pesarlas, luego se colocaron de nuevo en el plato de Petri para que continuara el proceso de imbibición durante 24 horas (Rodriguez et al. 2005). La cantidad de agua embebida fue expresada en base al peso seco del grano y se calculó la imbibición o la de absorción de agua (%) mediante la fórmula:

$$\text{Absorción de agua (\%)}: \frac{\text{Peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Efecto de la cubierta seminal sobre la capacidad de imbibición

Para determinar el efecto de la cubierta seminal en el proceso de imbibición, se realizó una modificación de la prueba anterior, por lo que a cuatro muestras de 25 granos, luego de las dos primeras horas de imbibición, se les realizaron una incisión en la cubierta seminal y se continuó el proceso de imbibición por 24 horas. Las mediciones se realizaron cada hora utilizando el método y fórmula anteriores.

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza de una vía a las variables peso, volumen, largo, ancho, grosor y porcentaje de testa del grano, con las variedades como único factor y se utilizó la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher para comparar las variedades al nivel del 5 %.

Se aplicó un análisis de varianza y la prueba de DMS de Fisher a las pruebas de imbibición e imbibición con incisión en la cubierta, empleando el tiempo de almacenamiento y las variedades como variables independientes. Para los análisis de varianza y las pruebas de significancia estadística se usó el PROC GLM.

Al porcentaje de imbibición a través del tiempo se le aplicó el modelo de crecimiento logístico (Tsoularis y Wallace 2002), descrito mediante la ecuación:

$$y = \left(\frac{H \max * Ho}{(H \max - Ho) \times EXP^{(-k * hora)} + Ho} \right)$$

Los parámetros del modelo logístico fueron estimados con el PROC NLIN del paquete estadístico SAS (SAS Versión 9.3, Institute Inc, Cary, NC, USA) y representan lo siguiente: Ho: es la humedad del grano en base seca a la hora 0,

Hmax: el valor máximo al que tiende la imbibición conforme pasan las horas, y k: la pendiente de la curva o la velocidad de imbibición.

Los parámetros H_0 , Hmax y k se sometieron a un análisis de varianza empleando el tiempo de almacenamiento y la variedad como variables independientes, y se utilizó la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher para comparar las variedades al nivel del 5 %.

Cuadro 2. Características agronómicas de las ocho variedades de frijol utilizadas en esta investigación.

Color	Variedad	Hábito de crecimiento	Ciclo fenológico
	UCR55	Tipo II-B: Indeterminada arbustiva.	Ciclo vegetativo: 80 a 104 días a cosecha. Período de floración: 33 a 55 dds. Madurez fisiológica: 75 dds
	Guaymí	Tipo II-B: semirecto indeterminado de semiguía.	Ciclo vegetativo: 74 a 76 días a cosecha. Período de floración: 38 dds. Madurez fisiológica: 68 dds.
Frijol Negro	Matambú	Tipo II-B: Indeterminada arbustiva.	Ciclo vegetativo: 72 a 74 días a cosecha. Período de floración: 37 dds. Madurez fisiológica: 64 y 68 dds.
	Negro brillante	No se cuenta con datos específicos de la variedad, ya que fue descartada en etapas iniciales del Programa de Leguminosas de la EEAFCM de la Universidad de Costa Rica, por presentar elevados tiempos de cocción. Se utilizó en este ensayo para tener datos de una variedad de frijol negro con testa brillante y así obtener resultados contrastantes con las otras variedades opacas.	
	Cabécar	Tipo II-B: Arbustiva de guía corta.	Ciclo vegetativo: 72 a 75 días a cosecha. Período de floración: 35 a 39 dds. Madurez fisiológica: 64 a 65 dds.
	Bribri	Tipo II-B: Indeterminada arbustiva.	Ciclo vegetativo: 76 a 80 días a cosecha. Período de floración: entre 35 y 41 dds. Madurez fisiológica: 68-72 dds.
Frijol Rojo	Tayní	Tipo II: Indeterminada arbustiva de guía corta.	Ciclo vegetativo: 73 a 75 días a cosecha. Período de floración: 39 dds. Madurez fisiológica: 66 dds.
	Diquis	Tipo II: Indeterminada arbustiva de guía corta.	Ciclo vegetativo: 76 a 82 días a cosecha. Período de floración: 32 y 37 dds. Madurez fisiológica: 57 a 62 dds.

dds: días después de siembra

4.4 Resultados y discusión

La temperatura dentro de la bodega de almacenamiento mostró un comportamiento típico, en el cual las temperaturas diurnas fueron más elevadas alrededor del mediodía y las menores durante la noche. La temperatura interna del saco mostró un comportamiento más estable y con menos diferencias entre el día y la noche (Fig. 3). La humedad relativa dentro de la bodega se mantuvo entre 72 % y 66 %, en contraste, dentro del saco ésta fue estable durante el día y la noche con un valor promedio de 66 % (Fig. 3). Estos resultados mostraron que los valores de temperatura y humedad dentro del saco, son más estables que en el exterior, por lo que el saco amortigua en cierta parte las condiciones ambientales externas.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas para las variables de peso y volumen de 100 granos, largo y grosor del grano y la proporción de testa, el ancho no presentó diferencias (Anexo 1). Comparando el peso de las variedades negras, solo la negra brillante presentó diferencias, y dentro de las rojas todas presentaron diferencias entre sí. Bribí, Tayní y la negra brillante pesaron entre 16 g y 17 g, mientras que las demás variedades presentaron pesos entre 19 g y 21 g (Cuadro 3).

Las variedades examinadas presentaron un peso promedio menor a 25 g por cada 100 granos, por lo que se clasifican como frijol de grano pequeño (IBPGR, 1982), además esta variable presentó menor diversidad que en otros estudios, por ejemplo Jacinto y Campos (1993) indicaron valores desde 16 g hasta 47 g, mientras que Guzmán et al. (2009) reportaron pesos similares de frijol negro entre 18 g y 26 g. Las variedades rojas también muestran mayor variabilidad en la literatura, ya que Escoto (2011) reportó pesos entre 23 g y 29 g, y Mederos y Reynaldo (2007) entre 16 g y 48 g.

Con respecto a las dimensiones del grano, el largo promedio fue entre 9 mm y 10 mm, el ancho fue 6 mm y el grosor estuvo entre 3,7 mm y 5 mm para todas las variedades, datos que coinciden con los reportados por Berrios y colaboradores (1999) y Mujica (2011). El volumen de las variedades de menor peso (Bribri, Tayní y negra brillante) fue de 12 ml y 13 ml, mientras que las de mayor peso presentaron valores entre 14 ml y 16 ml (Cuadro 3). Hernández y Campos (1993) reportaron volúmenes entre 20 ml y 44 ml, y Mederos y Reynaldo (2007) entre 13 ml y 38 ml.

En relación con la proporción de testa, las variedades negras presentaron valores entre 8,2 % y 9,3 %, datos que concuerdan con los reportados por Guzmán y colaboradores (2009) entre 8,4 % y 9,6 %, anteriormente Jacinto y Campos (1993) publicaron resultados con mayor variabilidad de la testa entre 7 % y 10 %. La negra brillante presentó diferencias en la proporción de testa con un valor de 9,3 %, y en el frijol rojo la variedad Diquís presentó el menor porcentaje de testa con un valor de 7,3 % y Tayní presentó el valor más alto de 9,9 %, las otras variedades presentaron valores de 8 % (Cuadro 3). Esta variable es muy importante, debido a que la testa es una barrera física que está relacionada con la impermeabilidad y por ende la dureza del grano (Sánchez 2006), además las características constitutivas de la cubierta seminal pueden ser interferencias durante la absorción de agua como el grosor, el peso, la adherencia a los cotiledones, la elasticidad, la porosidad y las propiedades coloidales de la misma (Tapia et al. 1985).

La caracterización morfológica es importante por las relaciones físico-mecánicas que ocurren en el grano (Quintero et al. 1988), por ejemplo el peso de 100 granos y la proporción de la testa son variables determinantes en la calidad del grano, como en el tiempo de cocción y la imbibición (Tapia 1985).

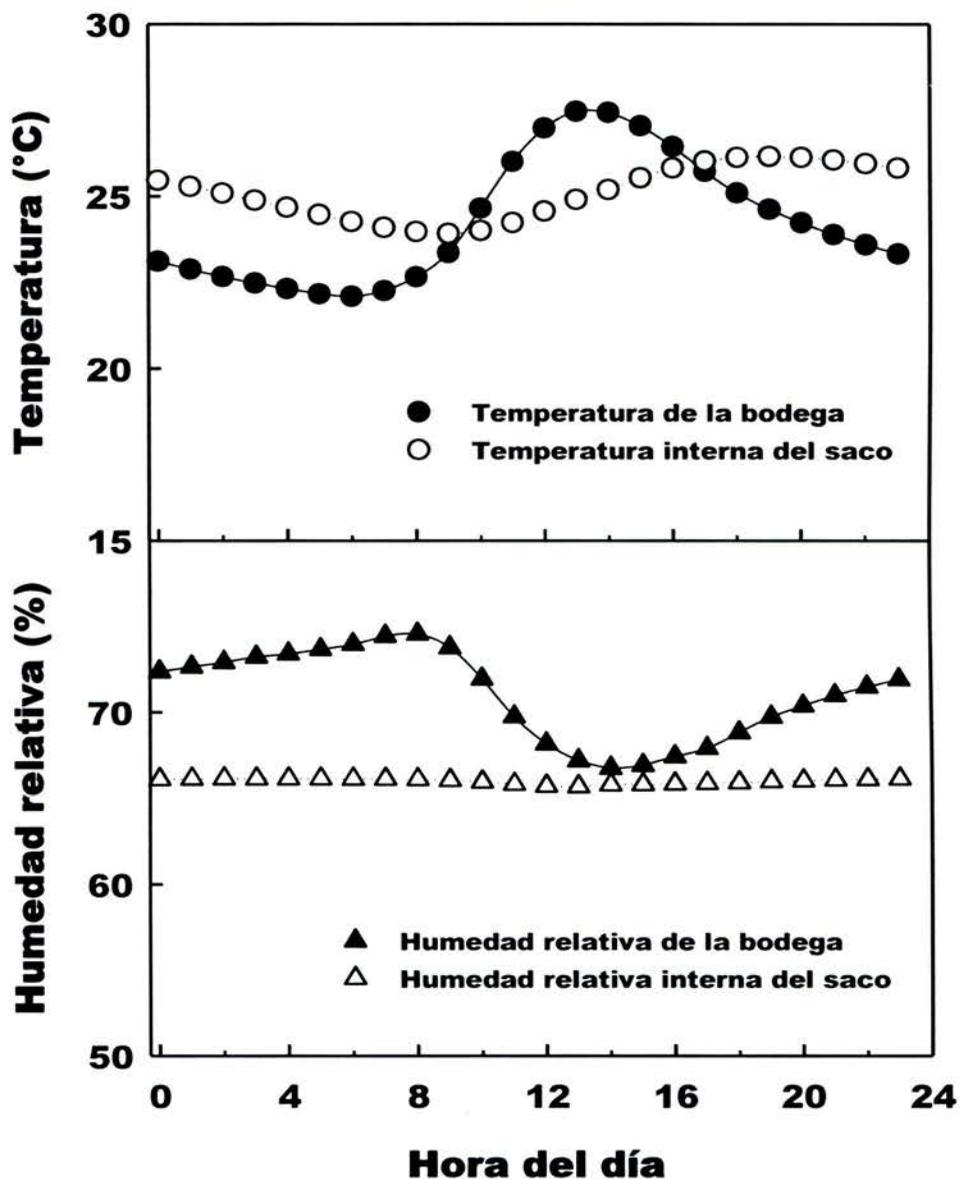


Figura 3. Temperatura y humedad relativa horaria medidas en la bodega de almacenamiento y en el interior de los sacos de frijol. Cada valor horario de temperatura y humedad representa el promedio de 30 días para los datos de la bodega y seis días para los datos internos de los sacos. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, durante el mes de enero y febrero del 2013.

Cuadro 3. Peso de 100 granos (g), largo, ancho y grosor (mm), volumen (ml) y la proporción de testa (%) de los granos de las ocho variedades de frijol. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, 2012.

Variedades	Peso de 100 granos (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Volumen (ml)	Proporción de testa (%)	
Frijol negro	UCR55	20,3 ±0,4 cd	10,5 ±0,2 de	6,5 ±0,2 c	4,4 ±0,2 b	15,5 ±0,7 bc	8,2 ±0,2 b
	Guaymí	19,2 ±0,4 c	9,8 ±0,3 bc	6,2 ±0,2 ab	4,7 ±0,2 c	14,7 ±0,4 b	8,3 ±0,2 bc
	Matambú	20,5 ±0,5 d	10,3 ±0,4 de	6,3 ±0,2 abc	4,6 ±0,2 c	15,7 ±0,5 b	8,4 ±0,1 bc
	Negro brillante	17,2 ±0,6 ab	10,2 ±0,3 bcd	6,2 ±0,2 a	3,7 ±0,3 a	13,1 ±0,8 a	9,3 ±0,1 d
Frijol rojo	Cabécar	21,2 ±0,4 d	11,0 ±0,4 e	6,5 ±0,2 bc	4,3 ±0,2 b	16,5 ±1,9 c	8,5 ±0,5 c
	Bribri	16,0 ±0,2 a	9,2 ±0,4 a	6,2 ±0,1 abc	3,9 ±0,1 a	12,4 ±0,9 a	8,4 ±0,3 bc
	Tayni	17,4 ±0,2 b	9,7 ±0,3 b	6,2 ±0,2 abc	3,9 ±0,2 a	13,6 ±0,4 a	9,9 ±0,1 e
	Diquís	19,3 ±0,1 c	10,2 ±0,4 cd	6,5 ±0,2 bc	5,1 ±0,3 d	15,0 ±0,9 bc	7,3 ±0,1 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según la prueba de DMS de Fisher.

La humedad del grano a lo largo del año disminuyó en todas las variedades; al inicio del ensayo fue en promedio de 15 %, durante el primer semestre se mantuvo entre 15 % y 13 %, y en el último semestre disminuyó de 12 % a 10 % (Cuadro 4).

Debido a que el tiempo de cocción se midió con una metodología descriptiva de acuerdo a la norma permitida, no se realizó un análisis de varianza, sin embargo se observaron diferencias entre las variedades negras y rojas (Cuadro 5). Entre las negras, UCR55 inició con un tiempo de cocción de 65 min y se mantuvo en primera calidad durante cinco meses, la variedad Guaymí también inició con el mismo tiempo de cocción, no obstante permaneció en primera calidad durante nueve meses. Matambú y Diquís iniciaron con un tiempo de cocción de 95 min y se mantuvieron en primera calidad durante cinco meses. Matambú y UCR55 alcanzaron los 126 min al año de almacenamiento, mientras que Guaymí en ese tiempo llegó a los 110 min. En estudios anteriores, Mora (1982) no reportó aumento en el tiempo de cocción durante los primeros seis meses de almacenamiento, sin embargo en los resultados obtenidos en esta investigación esta variable aumentó desde el primer mes en algunas variedades, estos datos coinciden con los reportados por Nyakuni y colaboradores (2008), en los cuales el

tiempo de cocción aumentó de 60 min hasta los 110 min durante los primeros seis meses de almacenamiento.

La variedad negra brillante desde la primera evaluación presentó altos tiempos de cocción (110 min) y a los 45 días de almacenamiento se encontraba en la última categoría de segunda calidad de cocción (126 min), a partir del cuarto mes se encontró fuera de la norma de calidad, ya que a pesar de que las muestras se cocinaron durante 126 min, no alcanzaron la cocción durante ese tiempo. Esta variedad aparte de presentar un alto porcentaje de testa, presenta ceras en la cubierta responsables del brillo que imposibilitan la absorción de agua al interior del grano, características que la hacen una variedad dura y de poco valor comercial por requerir mayor tiempo de cocción (Tapia et al. 1985, Jacinto y Campos 1993). Se utilizó este tipo de frijol negro con testa brillante para obtener resultados contrastantes con las otras variedades opacas. Cabe mencionar que el mercado prefiere los granos negros opacos (Lépiz 1999).

Las variedades de frijol rojo presentaron mayor endurecimiento durante el año de almacenamiento en comparación con las negras, con excepción de Matambú que presentó el mismo comportamiento que Diquís (Cuadro 5). Diquís presentó el menor endurecimiento a través del año, este frijol a pesar que inició con 95 min de cocción se mantuvo durante cinco meses en primera calidad. Bribri inició con un menor tiempo de cocción (80 min), sin embargo se endureció más rápido a través del año, ya que a partir de los 45 días de almacenamiento se encontraba en segunda calidad (110 min). Cabécar y Tayní mostraron un comportamiento similar durante el año, iniciaron con un tiempo de cocción de 95 min y los 45 días se encontraban en la segunda calidad de cocción. Los datos que presentaron el símbolo * indican que las muestras de frijoles se cocinaron por 126 min (última categoría de segunda calidad del grano) pero no alcanzaron la cocción, por lo que en las muestras de 50 granos se encontraron más de dos granos duros, lo que se considera fuera de la norma (Cuadro 5).

Las variedades rojas Cabécar y Tayní alcanzaron 126 min de cocción a los cinco meses, Bribri a los seis meses y Diquís alcanzó este tiempo de cocción en un año. El tiempo de almacenamiento recomendado para el frijol rojo y pinto es de 10 meses, ya que en este lapso las muestras alcanzaron el valor máximo recomendado para el consumo humano de 130 min (Enamorado 2007), sin embargo, las variedades Cabécar, Tayní y Bribri alcanzaron esa cocción en menor tiempo y presentaron diferentes velocidades de endurecimiento, por lo que tanto para variedades negras o rojas, es necesario conocer el endurecimiento de cada variedad durante el almacenamiento.

Las variedades Tayní y negro brillante presentaron una alta proporción de testa (9,9 % y 9,3, % respectivamente) y los mayores tiempos de cocción durante el almacenamiento, datos que concuerdan con los reportado por Guzmán et al. (2009) de 9,6 % de testa y 110 min de cocción. El porcentaje de testa es determinante en el tiempo de cocción del frijol, ya que esta barrera estructural se encuentra relacionada con el paso del agua al interior del grano (López et al. 1998), además desde el punto de vista sensorial con la textura del grano cocido (Pérez et al. 2002). Los datos reportados por Mederos y Reynaldo (2007) no cumplen con esta relación, ya que algunas variedades presentaron un 9,5 % de testa y bajos tiempos de cocción de 65 min, por lo que es importante determinar la naturaleza de la dureza de los granos de frijol, porque puede ser generada por la impermeabilidad de la testa o por la dureza en los cotiledones (Jacinto et al. 2002).

Las variedades negras UCR55, Guaymí y Matambú presentaron en promedio un peso de 20 g, una proporción de testa de 8,3 % y los menores tiempos de cocción estos datos reafirman la relación de que granos de mayor tamaño y menores porcentajes de testa se cocinan en menor tiempo (Jacinto y Campos 1993).

Todas las variedades de frijol se endurecieron a través del tiempo, y según Freitas et al. (2011) el almacenamiento natural causa aumento del tiempo de cocción

causados por fenómenos acumulados e irreversibles, que principalmente dependen de la intensidad de los factores como la temperatura y la humedad relativa (Ríos et al. 2003). Por otra parte, se conocen dos procesos diferentes relacionados con la absorción de agua que pueden aumentar el tiempo de cocción, el primero está influenciado por la resistencia de la testa a absorber agua durante la cocción, fenómeno que se conoce como cáscara dura, y se produce al almacenar el grano a alta temperatura y a baja humedad (Reyes et al. 1989). El segundo se presenta en los granos que absorben agua pero no se suavizan los cotiledones (Kigel 1999), debido a que en los frijoles endurecidos disminuye la gelatinización del almidón, ya que durante la cocción las proteínas se coagulan y forman una barrera física que restringen el flujo de agua, lo que conduce a un aumento del tiempo de cocción (Liu 1995).

Una de las limitaciones de este ensayo con respecto al tiempo de cocción fue la comparación de los datos con otras referencias bibliográficas, debido a que la metodología utilizada fue la permitida a nivel nacional, en la cual el evaluador es el encargado de determinar el tiempo de cocción de una muestra mediante el tacto, y en la mayoría de literatura publicada se determina esta variable utilizando el cocedor de Mattson. Este método es un estimador de la cocción basado en la resistencia de los granos de frijol a ser atravesados por agujas (Jackson y Varriano 1981), este equipo ha sido cuestionado debido a que sobreestima el tiempo necesario para alcanzar la cocción (Aguirre et al. 2011).

Cuadro 4. Contenido de humedad (%) de los granos de ocho variedades frijol almacenadas bajo condiciones ambientales, durante un año. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, datos recolectados de setiembre del 2012 a setiembre del 2013.

Días de almacenamiento	Variedades negras				Variedades rojas			
	UCR55	Guaymi	Matambú	Negro brillante	Cabécar	Bribri	Tayni	Diquis
15	15,5 ±0,3 a	15,9 ±0,3 b	15,9 ±0,1 ab	15,5 ±0,3 b	15,3 ±0,2 d	16,0 ±0,2 a	15,5 ±0,2 ab	15,0 ±0,1 bc
30	14,5 ±0,5 bc	15,3 ±0,5 d	16,0 ±0,3 a	15,9 ±0,1 a	15,4 ±0,3 cd	15,0 ±0,1 c	15,3 ±0,2 bc	15,0 ±0,1 c
45	14,6 ±0,2 bc	15,9 ±0,1 b	16,0 ±0,3 a	15,7 ±0,3 ab	15,5 ±0,1 bc	15,3 ±0,1 b	15,1 ±0,1 cd	15,3 ±0,1 b
60	15,5 ±0,3 a	16,3 ±0,4 a	16,1 ±0,1 a	15,6 ±0,3 ab	15,9 ±0,2 a	15,2 ±0,1 bc	15,5 ±0,2 a	15,3 ±0,1 b
75	14,7 ±0,4 bc	15,8 ±0,1 bc	13,8 ±0,1 b	15,3 ±0,2 b	15,6 ±0,1 bc	16,1 ±0,2 a	15,6 ±0,1 a	16,0 ±0,3 a
90	15,0 ±0,2 b	15,5 ±0,3 cd	15,9 ±0,1 ab	15,7 ±0,4 ab	15,4 ±0,3 bcd	15,2 ±0,2 b	14,9 ±0,1 de	15,0 ±0,1 bc
120	14,5 ±0,3 c	14,6 ±0,2 e	14,8 ±0,1 c	13,8 ±0,3 c	14,7 ±0,1 e	14,4 ±0,2 d	14,8 ±0,1 e	14,7 ±0,2 d
150	13,7 ±0,3 d	13,6 ±0,2 f	13,2 ±0,1 d	13,2 ±0,2 d	13,2 ±0,1 f	13,7 ±0,2 e	13,6 ±0,1 f	13,5 ±0,3 e
180	11,2 ±0,3 e	11,9 ±0,1 g	11,8 ±0,1 e	11,8 ±0,4 e	12,8 ±0,1 g	12,6 ±0,1 f	13,3 ±0,3 g	12,9 ±0,2 f
275	10,7 ±0,1 f	11,4 ±0,1 h	11,4 ±0,2 f	11,8 ±0,3 e	12,7 ±0,1 g	12,3 ±0,1 g	12,8 ±0,1 h	12,5 ±0,1 g
365	10,3 ±0,2 f	11,0 ±0,1 i	10,4 ±0,1 g	10,8 ±0,2 f	10,6 ±0,1 h	11,1 ±0,2 h	10,9 ±0,1 i	11,4 ±0,2 h

Medias con una letra en común en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según la prueba de DMS de Fisher.

Cuadro 5. Tiempo de cocción (min), de los granos de ocho variedades de frijol almacenadas bajo condiciones ambientales, durante un año (840 msnm). EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, datos recolectados de setiembre del 2012 a setiembre del 2013.

Variedades	Tiempo de cocción (min)											
	Días de almacenamiento después de cosecha											
	15	30	45	60	75	90	120	150	180	275	365	
Frijol negro	UCR55	65	80	95	80	80	80	80	80	110	110	126
	Guaymi	65	65	80	80	80	80	80	80	95	95	110
	Matambú	95	95	95	95	95	95	95	95	110	110	126
	Negro Brillante	110	110	126	126	126	126	126*	126*	126*	126*	126*
Frijol rojo	Cabécar	95	95	110	110	110	110	110	126	126*	126*	126*
	Bribri	80	95	110	110	110	110	110	110	126	126	126*
	Tayni	95	95	110	110	110	110	110	126	126*	126*	126*
	Diquis	95	95	95	95	95	95	95	95	110	110	126

*Fuera de la norma: Significa que la muestra de frijoles se cocinó hasta los 126 minutos pero no alcanzó la cocción en ese tiempo.

El análisis de varianza de la imbibición mostró diferencias significativas entre las variedades y los días de almacenamiento (Anexo 2). Los frijoles negros UCR55, Guaymí y Matambú mostraron un alto porcentaje de imbibición en las primeras horas del proceso y presentaron poca variación a través del año (Fig. 4). La negra brillante embebió más lento que las demás variedades negras debido a la presencia de ceras responsables del brillo en la cubierta seminal y presentó un aumento en la impermeabilidad de la cubierta a los nueve meses de almacenamiento (Fig. 4).

La imbibición de las variedades rojas fue más lenta que de las negras, con excepción de la negra brillante, y presentó mayor variación en la absorción de agua a través del año. Cabécar y Diquís mostraron disminución de la imbibición al año de almacenamiento y Bribri a los nueve meses. Tayní fue la más lenta y disminuyó la velocidad de imbibición a los seis meses de almacenamiento, reduciéndose de un 100 % a un 60 % de imbibición a las 24 horas (Fig. 4). Todas las variedades rojas disminuyeron la velocidad de imbibición durante el almacenamiento, datos que coinciden con lo reportado por Ríos et al. (2003), ya que en sus resultados la absorción disminuyó de 125 % a 110% a las 14 horas de imbibición después de ocho meses de almacenamiento.

La cuarta hora de iniciado el proceso de imbibición permitió separar las variedades en dos grupos según su velocidad de imbibición, ya que en esta hora se encontraron las diferencias más grandes, inclusive algunas variedades alcanzaron el 100 % de imbibición en este momento. Las variedades negras UCR55 y Guaymí en promedio presentaron una absorción de agua de 108 % en la cuarta hora de iniciado el proceso de imbibición, Matambú presentó 83 %, y la negra brillante presentó un valor de 22 %. Todas las variedades rojas presentaron en promedio 22 %.

La imbibición en las variedades negras, excepto de la negra brillante, no presentó aumentos significativos luego de las 12 horas de iniciado el proceso, ya que

después de ese momento se presentó una estabilización de la absorción de agua (Rodrigues 2005). Las variedades rojas y la negra brillante luego de las 12 horas de imbibición continuaron absorbiendo agua, ya que el proceso no se estabilizó durante ese tiempo.

Durante el almacenamiento la testa se vuelve más impermeable, debido a cambios bioquímicos que ocurren en los compuestos fenólicos; por ejemplo el contenido de lignina presente en las membranas celulares tiende a aumentar, por lo que se reduce la imbibición del grano (Esteves et al. 2002, Nasar et al. 2008). Las antocianinas son un tipo de flavonoides que se encuentran relacionadas con el color rojo del frijol y pueden degradarse durante el almacenamiento a altas temperaturas y generar un oscurecimiento de la testa, además pueden interactuar con otros compuestos y formar estructuras más resistentes (Choung 2004). Las astragalinas son los pigmentos más abundantes en los genotipos amarillos y rojos, mientras que las antocianidinas glucosidadas predominan en los genotipos negros (Finkelstein et al. 2008).

Los taninos se pueden condensar o formar complejos con proteínas o polisacáridos de la pared celular, lo cual los insolubiliza, y algunos estudios afirman que los taninos condensados solubles son menos extraíbles en los granos endurecidos, por lo que estos compuestos fenólicos también pueden estar implicados en el endurecimiento (Granito et al. 2008, Mujica et al. 2011). La pectina es un polisacárido complejo presente en las paredes celulares relacionado con el endurecimiento del grano. En frijoles suaves es más soluble en agua y presenta una estructura menos ramificada que en frijoles endurecidos (Njoroge et al. 2014).

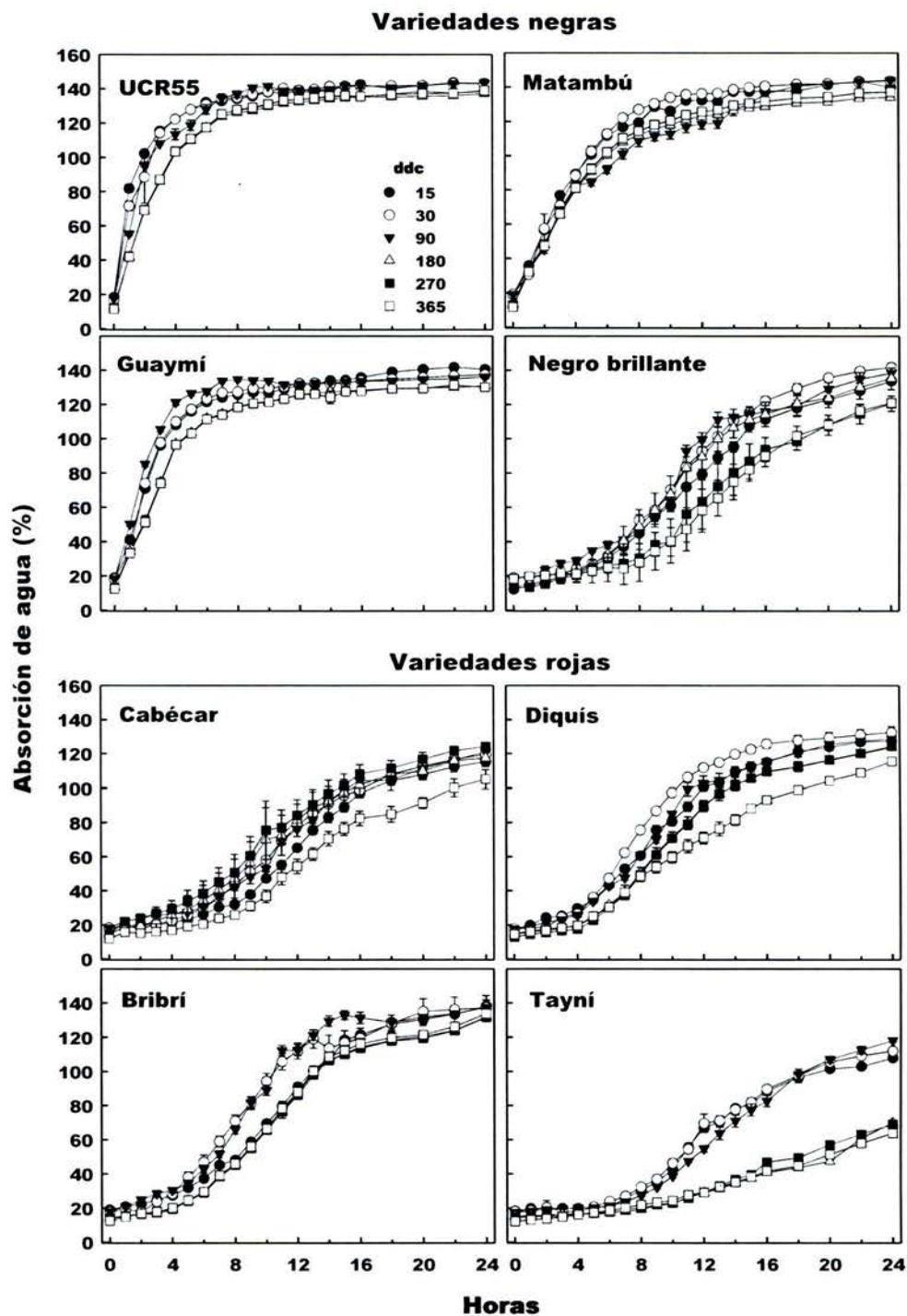


Figura 4. Imbibición de los granos de ocho variedades de frijol negro y rojo que permanecieron almacenadas bajo condiciones ambientales, durante un año. Las líneas corresponden a evaluaciones realizadas en diferentes días después de cosecha (ddc). EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, datos recolectados de setiembre del 2012 a setiembre del 2013.

Entre el tiempo de cocción y la imbibición se observó una relación inversa, ya que las variedades con los tiempos de cocción mayores (Tayní, Cabécar, Bribri y negra brillante) embebieron agua más lentamente, y las variedades negras UCR55, Matambú y Guaymí presentaron los tiempos de cocción menores y embebieron agua más rápidamente (Fig. 5), datos similares encontró Bordin y sus colaboradores (2010).

Aunque los datos de la relación entre la imbibición a las cuatro horas y el tiempo de cocción presentaron algún grado dispersión, se observó una relación inversa entre ambas variables y una relación alta (R^2 : 74%), Bordin et al. (2010) obtuvo una relación del 85%. La absorción lenta de agua ha sido relacionada con el fenómeno de la testa dura y se asocia con tiempos de cocción prolongados, de manera que entre mayor es la imbibición generalmente los tiempos de cocción son menores (Castellanos et al. 1994, Pérez et al. 2002). Algunos autores afirman esta relación (Rodríguez et al. 2005, Guzmán et al. 2009, Dalfollo et al. 2007, Mujica 2011), sin embargo otros autores han encontrado que no siempre estas variables presentan este comportamiento (Carbonell et al. 2003, Dalla et al. 2003), debido a que a pesar de que el tiempo de cocción está relacionado con la impermeabilidad de la testa, existen múltiples factores que lo pueden afectar, como las características morfológicas, genéticas y de almacenamiento del grano (Maurer et al. 2004).

Con base en estos resultados, se observa que existe una relación inversa entre ambas variables, sin embargo es conveniente no asumir demasiado con este modelo, debido a que los datos del tiempo de cocción corresponden a los rangos establecidos por la norma nacional (65, 80, 95, 110 y 126 min). Para estudios a futuro, se recomienda tener datos más continuos con respecto al tiempo de cocción, con el fin de relacionarlo con la imbibición de una manera más adecuada y obtener una ecuación más confiable.

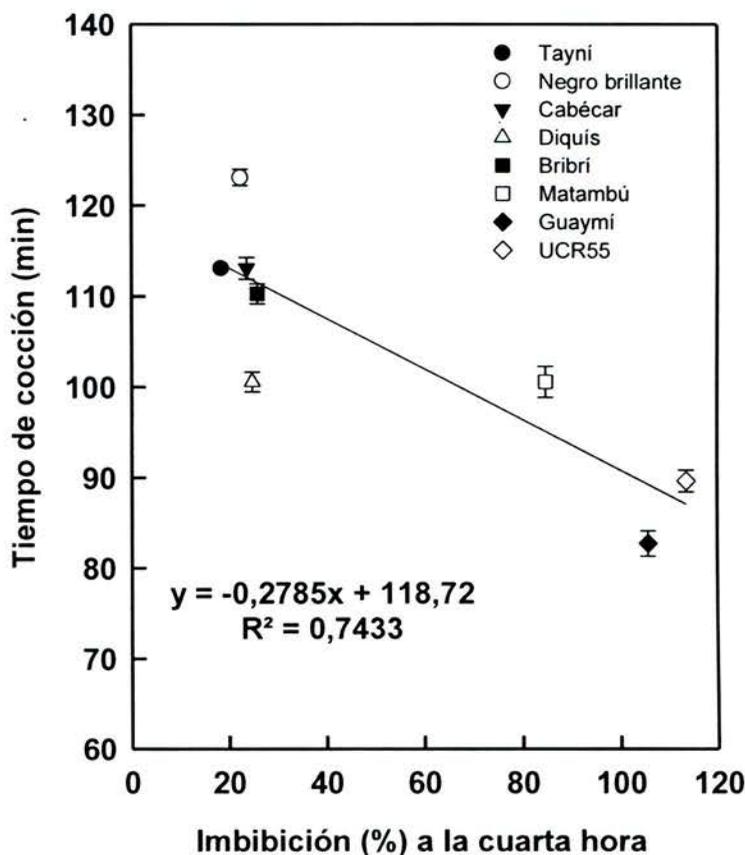


Figura 5. Relación entre la imbibición a las cuatro horas de iniciado el proceso y el tiempo de cocción de ocho variedades de frijol. Cada punto representa una variedad y el promedio de 11 evaluaciones, con su respectivo error estándar. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, datos recolectados de setiembre del 2012 a setiembre del 2013.

Las curvas de imbibición se calcularon mediante un modelo de crecimiento logístico para las ocho variedades de frijol, definido por la siguiente ecuación

$$y = \left(\frac{H_{\max} \times H_0}{(H_{\max} - H_0) \times \text{EXP}^{(-k \cdot \text{hora})} + H_0} \right), \text{ donde el parámetro } H_{\max} \text{ es el valor máximo}$$

al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, H_0 es la humedad del grano en base seca a la hora 0 y k es la pendiente de la curva o la

velocidad de absorción de agua. Estos parámetros fueron estimaciones obtenidas ajustando el modelo de crecimiento logístico a los datos de imbibición de agua a lo largo de 24 horas, y presentaron diferencias significativas entre variedades y entre los días de almacenamiento (Cuadro 6).

Cuadro 6. Niveles de significancia observados (probabilidades) de las fuentes de variación consideradas en los modelos de crecimiento logístico de Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, Ho o la humedad del grano en base seca en la hora 0 y k o la pendiente de la curva o la velocidad de absorción de agua. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, 2013.

Fuente	Grados de libertad	Pr > F		
		Hmax	Ho	k
Variedad (V)	7	<.0001	<.0001	<.0001
Días de almacenamiento (DA)	1	0,998	<.0001	<.0001
DA X V	7	0,008	0,040	<.0001
DA X DA	1	0,185	0,069	<.0001
DA X DA X V	7	0,003	0,134	0,082
Error		187	187	187

En las variedades negras, el parámetro de Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas fue mayor para la negra brillante, seguida por UCR55, Matambú y Guaymí. Todas las variedades disminuyeron el Hmax a través del año de almacenamiento, por lo que conforme aumentaron los días de almacenamiento las variedades perdían la capacidad de imbibición.

El Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0 fue mayor para UCR55, Matambú y Guaymí, en comparación con la negra brillante, este parámetro tendió

a disminuir conforme paso el tiempo de almacenamiento. El valor de k o la velocidad de imbibición presentó los datos mayores para UCR55, Guaymí, en promedio 0,9 y 0,8 respectivamente, y Matambú presentó un valor de 0,5 y la negra brillante 0,3, este dato disminuyó en todas las variedades, conforme aumentaron los días de almacenamiento, por lo que la velocidad de imbibición tendió a disminuir (Cuadro 7). Las variedades con el k más alto (UCR55 y Guaymí) presentaron la mayor velocidad de imbibición, en contraste la negra brillante que presentó un k de 0,3 mostró baja velocidad de imbibición.

En las variedades rojas, el valor de H_{max} mayor lo presentaron Bribri y Diquís, luego Cabécar, y el valor menor lo presentó Tayní, ya que esta variedad fue lenta para embeber y a las 24 horas de iniciada la imbibición no alcanzó el 100 %. En todas las variedades, el H_{max} tendió a disminuir, solo en la variedad Tayní aumentó hasta el quinto mes y luego empezó a disminuir, probablemente esta variedad por no alcanzar el 100 % de imbibición a las 24 horas el modelo de crecimiento logístico no se ajustó confiablemente. El H_0 en todas las variedades tendió a disminuir, solo en la variedad Tayní aumentó. El valor de k más alto lo presentó Bribri y Diquís, luego Cabécar y la variedad más lenta para embeber fue Tayní. La velocidad de imbibición tendió a disminuir en todas las variedades (Cuadro 7).

El valor de k o la velocidad de imbibición se puede relacionar con el tiempo de cocción y con la imbibición, ya que las variedades UCR55 y Guaymí presentaron los mayores valores de k y los menores tiempos de cocción, debido a que la velocidad de absorción de agua es mayor. Por otra parte, las variedades Tayní y negro brillante presentaron los menores valores de k y se cocinaron en mayores tiempos.

Comparando las variedades negras y rojas, se observó que las negras alcanzaron valores mayores de H_{max} o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, H_0 o la humedad del grano en base seca a

la hora y k o la pendiente de la curva o la velocidad de absorción de agua, esto se observó en la imbibición y el tiempo de cocción, donde las variedades negras con excepción de la negra brillante, absorbieron agua más rápidamente y se cocinaron en menos tiempo.

Cuadro 7. Parámetros calculados de Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0 y k o la pendiente de la curva o la velocidad de absorción, para las variedades de frijol negro y rojo. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, 2013.

Variedades	Parámetros	Días de almacenamiento después de la cosecha												
		15	30	45	60	75	90	120	150	180	270	365		
Frijol negro	UCR55	Hmax	138,1	138,1	138,0	137,9	137,8	137,7	137,4	137,1	136,7	135,5	133,7	
		Ho	31,2	30,9	30,6	30,3	29,9	29,6	29,0	28,3	27,4	25,7	23,7	
		k	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	
	Guaymí	Hmax	133,3	132,9	132,6	132,2	131,8	131,4	130,7	130,0	129,1	127,2	125,2	
		Ho	23,7	23,5	23,3	23,1	22,9	22,8	22,4	22,0	21,5	20,5	19,4	
		k	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	
	Matambú	Hmax	136,8	136,9	137,1	137,1	137,2	137,2	137,0	136,7	136,1	133,9	129,8	
		Ho	27,8	27,6	27,4	27,2	27,0	26,8	26,4	26,0	25,5	24,4	23,2	
		k	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	
	Negro brillante	Hmax	148,3	147,3	146,3	145,4	144,6	143,7	142,2	140,8	139,2	136,9	135,6	
		Ho	9,7	9,6	9,5	9,3	9,2	9,1	8,8	8,6	8,3	7,6	6,8	
		k	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	
	Frijol rojo	Cabécar	Hmax	128,2	127,9	127,6	127,2	126,9	126,5	125,8	125,0	124,0	121,8	118,9
			Ho	11,6	11,5	11,4	11,2	11,1	11,0	10,8	10,5	10,2	9,5	8,7
			k	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Bribri		Hmax	137,5	137,3	137,0	136,7	136,5	136,2	135,7	135,2	134,4	133,0	131,1	
		Ho	11,7	11,5	11,2	11,0	10,7	10,5	10,0	9,5	8,8	7,5	6,0	
		k	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	
Diquis		Hmax	135,8	133,9	132,2	130,5	129,0	127,6	125,1	123,1	121,1	119,4	121,6	
		Ho	11,3	11,2	11,1	10,9	10,8	10,7	10,4	10,1	9,8	9,1	8,2	
		k	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	
Tayní	Hmax	122,6	125,9	128,9	131,6	133,9	135,8	138,5	139,9	139,5	131,0	107,7		
	Ho	8,9	9,0	9,1	9,2	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,7	11,4		
	k	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		

El análisis de varianza realizado a los datos de los granos que sufrieron una incisión a la hora de iniciado el proceso de imbibición mostró diferencias significativas entre las variedades y entre los tratamientos con y sin incisión en la testa (Anexo 3). Las variedades mostraron comportamientos diferentes según el color del grano, la UCR55 y Guaymí no presentaron aumento en la absorción de agua por la incisión en la testa, pero Matambú si presentó un pequeño efecto en la imbibición. La negra brillante presentó un comportamiento diferente a las otras variedades negras, ya que ésta absorbió rápidamente el agua por la incisión, lo que refleja mayor impermeabilidad de la cubierta seminal de este tipo de frijol (Fig. 6).

Todos los granos de las variedades rojas absorbieron agua más rápidamente por la incisión realizada en la testa que en las negras, lo que mostró una mayor impermeabilidad de la testa en éstas (Fig. 6). Los resultados obtenidos muestran que la absorción de agua por parte del grano está principalmente influenciada por las características de la testa y la impermeabilidad que ésta tenga (Moreno et al. 2006).

La imbibición es un proceso físico y las relaciones hídricas gobiernan varios factores de este movimiento de agua del exterior hacia el interior del grano (Bewley y Blanck 1994). En trabajos anteriores se evidenció que durante la imbibición la testa y la región del micrópilo e hilio participan de manera diferente en el proceso y las semillas con testas permeables realizan el proceso por estas estructuras a altas velocidades (Pérez y Acosta 2002).

Por lo que se puede concluir, que en las variedades estudiadas, los frijoles de grano negro, a excepción de la negra brillante presentaron testas altamente permeables, en comparación a los granos rojos, además esta característica puede estar relacionada con el tiempo de cocción y con la capacidad de imbibición.

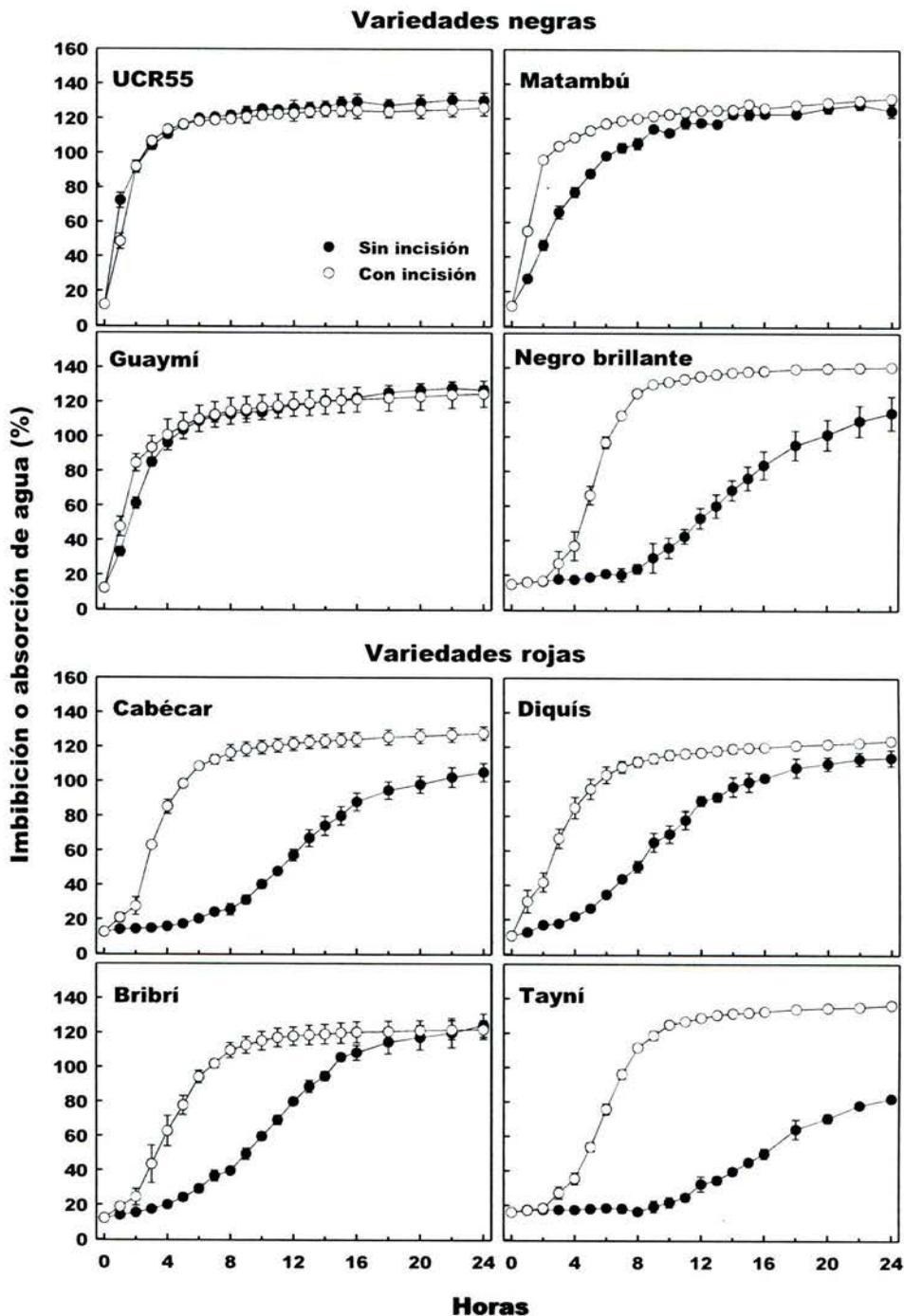


Figura 6. Imbibición de los granos de ocho variedades de frijol negro y rojo, sometidos a dos tratamientos, los primeros con la cubierta seminal intacta y otros a los cuales se les realizó una incisión en la cubierta seminal a la hora de iniciada la imbibición. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, 2012.

4.5 Conclusiones

Existe poca variabilidad morfológica entre las variedades de frijol estudiadas, con respecto a las dimensiones del grano (largo, ancho y grosor) y al volumen de 100 granos de frijol. El peso de los granos y la proporción de testa son variables determinantes en el tiempo de cocción y la imbibición.

El tiempo de cocción aumentó en todas las variedades durante el almacenamiento y se observó mayor endurecimiento en las variedades rojas y la negra brillante, debido a la presencia de ceras y mayor impermeabilidad en la testa, además de posibles cambios que ocurren en los compuestos fenólicos; probablemente los cotiledones disminuyeron su capacidad de suavizarse por los cambios estructurales que sufren las proteínas y los carbohidratos presentes en el grano.

La velocidad de imbibición disminuyó durante el almacenamiento en todas las variedades rojas y en la negra brillante. Las variedades negras UCR55, Matambú y Guaymí no presentaron cambios.

La cubierta seminal se comportó como una barrera física durante la imbibición; se observó mayor impermeabilidad de la testa en las variedades rojas y la negra brillante, debido probablemente a las características de los compuestos fenólicos y a la presencia de ceras en la cubierta seminal.

Existe una relación inversa entre la imbibición y el tiempo de cocción, ya que las variedades negras, a excepción de la negra brillante, presentaron menores tiempos de cocción y mayor velocidad de imbibición en comparación con las variedades rojas.

No es necesario realizar curvas de absorción de agua o de imbibición por tiempos mayores a las 12 horas, debido a que luego de este momento, los cambios en peso porcentuales no son significativos entre las variedades de frijol.

Bajo las condiciones de esta investigación, la cuarta hora a partir de iniciado el proceso de imbibición es el punto adecuado para observar diferencias entre variedades con respecto a la velocidad de imbibición y por ende se podría relacionar con el tiempo de cocción.

Finalmente, basado en los resultados de este trabajo, las características de los granos de frijol como la proporción y el brillo de la cubierta seminal influyen en la velocidad de imbibición y tiempo de cocción, así como en el endurecimiento durante el almacenamiento.

4.6 Literatura citada

- Aguirre, E; Rodríguez, J; Rosales, R; Castro, J; Ochoa, A; Valle, S; Gómez, C. 2011. Determinación de tiempo de cocción de frijol común Var. Pinto Saltillo utilizando dos métodos. XXXII Encuentro Nacional AMIDIQ México. 6 p.
- Araya, R; Gutiérrez, M (eds). 2015. La calidad de las semillas es de alto valor comercial, social, y esencial para la seguridad alimentaria. 15-19. En "Producción de semilla de alta calidad de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)". Araya, R; Gutiérrez, M (eds). Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, CRC. 225 p.
- Berrios, J; Barry, G; Cheong, A. 1999. Physico-chemical characterization of stored black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Food Research International 32(10):669-676.
- Bertoldo, J; Coimbra, J; Guidolin, A; Nodari, R; Elias, H; Barili, L; Vale, M; Rozzeto, D. 2009. Rendimento de grãos em feijão preto: o componente que mais interfere no valor fenotípico é o ambiente. Ciência Rural 39(7):1974-1982.
- Bewley, D; Black, M. 1994. Seeds physiology of development and germination. 2ed. New York, USA. Plenum Press. 444 p.
- Blandón, M. 2010. Evaluación de tres métodos de almacenamiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su efecto en los atributos de la calidad del grano. Tesis Lic. Honduras. Zamorano. 36 p.
- Carbonell, S; Carvalho, C; Pereira, V. 2003. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. Bragantia 62(3):369-379.
- Castellanos, J; Guzmán, H; Acosta, G; Kelly, J. 1994. Effect of hard shell in cooking time of common beans in the semiarid highlands of Mexico. Bean Improv. Coop. 37:103-105.
- Chung, C. 2004. Anthocyanins profiles of Korean kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal Agriculture of Food Chemistry 51(24):7040-7043.

- Dalfollo, N; de Abreu, J; Cargnelutti, A; Luiz, N; Trentin, M; Saydelles, S. 2007. Efeito de períodos de semeadura e das condições de armazenamento sobre a qualidade de grãos de feijão para o cozimento. *Bragantia* 66(1):157-163.
- Dalla, A; Moda, V; dos Santos, M; Destro, D. 2003. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 3(3):193-202.
- Deshpande, S; Cheryan, M. 1986. Water uptake during cooking of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Food for Human Nutrition* 36(3):157-165.
- Enamorado, S. 2007. Evaluación de las condiciones de almacenamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en las bodegas del Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola (IHMA). Tesis. Licenciatura. Zamorano. Honduras. 45 p.
- Escoto, N. 2011. El cultivo de frijol. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Honduras. 43 p.
- Esteves, A; Patto, C. Donizete, C; Duarte, A. 2002. Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijao (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cienc. Agrotec, Lavras*. 26(5):999-1005.
- Finkelstein, R; Reeves, W; Ariizumi, T; Steber, C. 2008. Molecular aspects of seed dormancy. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:387-415.
- Freitas, R; Faroni, L; Sousa, A; Cecon, P; Carvalho, M: Quality of beans stored under hermetic conditions. *Eng. Agric. Jaboticabal*. 31(6):1136-1149.
- Granito, M; Paolini, M; Pérez, S. 2008. Poliphenols and antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* stored under extreme conditions and processed. *Food Sci. Technol.* 41(6):994-999.
- Guzmán, I; Almanza, E; Acosta, J; Guzmán, S. 2009. Estudio comparativo de características de calidad entre genotipos de frijol de grano negro. *Agri. Téc. Méx.* 35(4):449-457.
- Hernández, C; Campos, A. 1993. Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomía Mesoamericana* 4(1): 42-47.
- IBPGR (International board for plant genetic resources). 1982. Descriptors for *Phaseolus vulgaris*. FAO. Roma. 37 p.

- Jacinto, C; Campos, A. 1993. Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomía Mesoamericana* 4(1):42-47.
- Jackson, G; Varriano, E. 1981. Hard-to-cook phenomenon in beans: effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. *Journal of Food Science* 46(3):799-803.
- Kigel, J. 1999. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 3(4):205-209.
- Lépiz, I. 1999. Producción de semilla de frijol en Centroamérica. Experiencias y planteamientos para el futuro. Memoria Taller Regional de Semillas, San José, Costa Rica. PROFRIJOL, Ciudad de Guatemala, Guatemala. 144 p.
- Liu, K. 1995. Cellular, biological, and physicochemical basis for the hard-to-cook defect in legume seeds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 35(1):263-298.
- López, H; Peña, B; Aguirre, R; Trejo, L. 1998. Effects of domestication on *Phaseolus vulgaris* L. germination. *Ann. Rep. Bean Impr.* 41:113-114.
- Maurer, G; Banu, F; Ozen, L; Mauer, S; Nielsen, S. 2004. Analysis of Hard-to-cook red and black common beans using Fourier transform infrared spectroscopy. *J. Agric. Food Chemistry* 52(6):1470-1477.
- Mederos, Y. 2006. Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales* 27(3):55-62.
- Mederos, Y; Reynaldo, I. 2007. Determinación de indicadores de calidad de 11 genotipos de la especie *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales* 28(4):51-56.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. San José, Costa Rica. 560 p.
- Mora, M. 1982. Influencia de diferentes temperaturas y contenidos de humedad sobre el tiempo de cocción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) almacenado durante 18 meses. *Agronomía Costarricense* 6(1/2):87-89.

- Mora, M. 1989. Comparación del tiempo de cocción de ocho cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit 22(2):32-36.
- Moreno, F; Plaza, G; Magnitskiy, S. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). Agronomía Colombiana 24(2):290-295.
- Muñoz, E; Rubio, E; Bernal, D; Garza, I; Jacinto, C. 2009. Caracterización de genotipos nativos de frijol del estado de Hidalgo, con base a calidad del grano. Agricultura Técnica en México 35(4): 429-438.
- Mujica, M; Granito, M; Soto, N. 2011. Propiedades físicas y calidad de cocción de leguminosas cultivadas en Venezuela. Revista Facultad de Agronomía Luz 28(1):104-122.
- Mujica, M; Granito, M; Soto, N. 2011. Variación de los compuestos fenólicos de *Phaseolus vulgaris* L. durante el almacenamiento y su relación con el endurecimiento. Bioagro 24(3):163-174.
- Nasar, S; Plummer, J; Siddique, K; White, P; Harris, D; Dods, K. 2008. Cooking quality of faba bean after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. Food Science and Technology 41(7):1260-1267.
- Njoroge, D; Kinyanjui, P; Makokha, A; Chistiaens, S; Shpigelman, A; Shpigelman, A; Sila, D; Hendrickx, M. 2014. Extraction and characterization of pectic polysaccharides from easy- and hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*). Food Research International 64(1):314-322.
- Nyakuni, G; Kikafunda, J; Muyonga, J; Kyamuhangire, W; Nakimbugwe, D; Ugen, M. 2008. Chemical and nutritional changes associated with the development of the hard-to-cook defect in common beans. International Journal of Food Science and Nutrition 59(7-8):652-659.
- Oliveira, A; Patto, C; Duarte, A. 2002. Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Cien. Agrotec. Lavras. 26(3):555-558.

- Pastor, M; Schwartz, H. 1994. Problemas de producción del frijol en los trópicos. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Serie 09SB-1. 734 p.
- Pérez, P; Acosta, J. 2002. Permeabilidad de la testa y la porción micrópilo-hilio en semilla de frijol silvestre y cultivado. Rev. Fitotec. Mex. 25(1):57-63.
- Pérez, P; Esquivel, G; Rosales, G; Acosta, J. 2002. Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 52(2):172-180.
- Quintero, F; Caraza, H; Abreu, S; León, H; A. 1988. Comportamiento de 20 variedades de frijol en la región central de Cuba. Centro Agrícola 15(2):13-14.
- Reyes, C; Paredes, O. 1993. Hard to cook phenomenon in common beans: a review. Food Sci. Nutr. 33(3):227-286.
- Reyes, C; Paredes, O; Montes, R; Juárez, M. 1989. Desarrollo de un procedimiento rápido para determinar la tendencia al endurecimiento de variedades de frijol común. Tec. Aliment. 24(4):5-10.
- Reyes, C; Paredes, Okamura, J; Armienta, E; Gomez, R; Milán, J. 2000. Hard-to-cook phenomenon in chickpeas (*Cicer arietinum* L): Effect of accelerated storage on quality. Plant Foods for Human Nutrition 55(3):229–241.
- Ríos, A; Abreu, P; Correa, D. 2003. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L). Ciência e Tecnologia de Alimentos 23(1):39-45.
- Rodrigues, J; Dalfollo, N; Medianeira, P; Cargnelutti, F; Camacho, D. 2005. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. Ciencia Rural 35(1):6 p.
- Rosas, J. 1998. El cultivo del frijol común en América Tropical. Zamorano, Honduras. Zamorano Academia Press. 52 p.
- Rosas, J; Gallardo, O; Jiménez, J. 2003. Mejoramiento del frijol común mediante enfoques participativos en Honduras. Agronomía Mesoamericana 14(1):1-9.

- Sánchez, P. 2006. Búsqueda de un método práctico, rápido y barato para medir la dureza del frijol. Memorias IX Taller de resultados de investigación y transferencia de tecnología. PITTA-FRIJOL. 9 p.
- SEPSA, FAO. 2006. Estudio de competitividad del frijol en Costa Rica con la metodología de la matriz de análisis de política (MAP). Proyecto TCP/COS/3001 (A). Costa Rica. 84 p.
- Shiga, T; Lajolo, F; Filisetti, T. 2004. Changes in the cell wall polysaccharides during storage and hardening of beans. Food Chemistry 84(1):53-64.
- Tapia, B; López, S; Estrada, B. 1985. Evaluación de un método para reducir el tiempo de cocción en frijol común. Memorias de la XXXI Reunión Anual del PCCMCA. Honduras. 67 p.
- Tsoularis, A. Wallace, J. 2002. Analysis of logistic growth models. Mathematical Biosciences 179(1):21-55.

V. Capítulo II

Efecto del momento y la práctica de cosecha sobre el tiempo de cocción y la imbibición de los granos de dos variedades de frijol común

5.1 Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del momento y la práctica de cosecha sobre el tiempo de cocción y la imbibición de una variedad de frijol negro (Guaymí) y una roja (Diquís), y evaluar si estas prácticas afectan la germinación y el vigor de las semillas. Se establecieron cuatro parcelas grandes en el campo, dos expuestas a plena exposición solar y otras dos a las cuales se les colocó un techo de sarán (sombra= 80%) al momento de la madurez fisiológica. Cada parcela se distribuyó con un arreglo trifactorial de 2 x 2 x 5, donde el primer factor fue la variedad de frijol, el segundo las dos prácticas de cosecha, en plantas erectas y volcadas, y el tercero fue las semanas de permanencia en el campo después del punto de madurez de cosecha. No presentó diferencias la temperatura interna de las vainas provenientes de ambas condiciones de exposición solar y de las dos prácticas de cosecha. Los grados días calculados presentaron diferentes valores según el equipo de medición utilizado. El tiempo de cocción de Guaymí fue de 80 min, excepto en los tratamientos que permanecieron en el campo por cuatro semanas (95 min). Diquís presentó un tiempo de cocción de 95 minutos en todos los tratamientos. La imbibición del frijol negro presentó mayor velocidad que la variedad roja Diquís. El modelo de crecimiento logístico presentó una interacción significativa entre las variedades de frijol y las semanas de permanencia en el campo después del punto de madurez de cosecha, para las variables Hmax o el valor máximo al que tiende la imbibición y Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0. El porcentaje de germinación disminuyó para la variedad Diquís a partir de la semana tres de cosecha, después del punto de madurez.

5.2 Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los principales alimentos a nivel mundial, en Latinoamérica y en Costa Rica es la leguminosa de mayor importancia en la dieta de la población, donde más del 85 % de la producción total es dedicada al consumo humano (FAO 1990). El grano es fuente esencial de proteína vegetal, hierro, ácido fólico, tiamina, potasio, magnesio y zinc, además cuenta con la presencia de fitoquímicos como la fibra, polifenoles, ácido fítico, taninos, inhibidores de tripsina y lecitina (INTA 2008).

Los rendimientos del cultivo de frijol son típicamente muy bajos, entre 0,6 y 0,8 toneladas por hectárea, debido a la precocidad de las variedades y a su poca capacidad para alcanzar índices de área foliar óptimos, lo que reduce la interceptación de la luz, la producción de biomasa y el rendimiento (Galván et al. 2003). A esto se suma el estrés abiótico impuesto por las condiciones sub óptimas de producción, expuesta frecuentemente al estrés hídrico, alta radiación, altas temperaturas y baja fertilidad de los suelos (Acosta et al. 2008).

Las principales pérdidas en este cultivo, tanto en cantidad como en calidad, ocurren después de la cosecha, provocado por el secado acelerado a elevadas temperaturas en el campo, y como consecuencia de un mal manejo de los granos y de un almacenamiento inapropiado, esto provoca endurecimiento y daños físicos en el grano (IICA 2009, Mora 1982). Aunque el estrés debido a altas temperaturas ha sido estudiado por décadas y se dispone de abundante conocimiento del efecto de la temperatura sobre la fisiología de las plantas (Turner y Kramer 1980, Rainey y Griffiths 2005), poco se conoce su efecto sobre el endurecimiento del frijol durante el secado (Lyndon 1992, Muasya et al. 2002).

Durante la madurez fisiológica, la semilla de frijol alcanza su óptima calidad, mayor poder germinativo y vigor, pero el contenido de humedad es alto (IICA 2009). La cosecha debe realizarse en el punto de madurez, cuando el contenido

de humedad se encuentre entre 18 % y 20 %, para evitar el daño mecánico del grano durante el aporreo y la trilla (Muasya et al. 2008, Escoto 2011).

Los agricultores acostumbran dejar las plantas en el campo después del punto de madurez de cosecha, para promover el secado adicional o arrancarlas y dejarlas amarradas en manojos volcados expuestos al sol (IICA 2009). Las plantas que permanecen demasiado tiempo en el campo pueden presentar pérdidas por dehiscencia de las vainas, ataque de hongos e insectos y disminución de la calidad del grano (Escoto 2011).

El momento de la cosecha influencia varias propiedades físicas, químicas y nutricionales del frijol, que se extiende durante el almacenamiento, como el contenido de humedad, la capacidad de absorción, la cantidad de compuestos fenólicos y la fracción proteica (Oliveira et al. 2003). La combinación de las altas temperaturas y la rápida reducción del contenido de humedad durante este secado podrían provocar daños físicos y endurecimiento de los granos, aumentando con esto los tiempos de cocción (Aguilera et al. 1986, IICA 2009).

El tiempo de cocción es uno de los parámetros más importantes de calidad del grano de frijol y se define como la cantidad de tiempo necesario para cocinar el 96% de una muestra (Muñoz et al. 2009). Los frijoles de primera calidad son aquellos que presentan tiempos de cocción menores o iguales a los 95 minutos, mientras que aquellos que necesitan entre 110 minutos y 126 minutos son considerados de segunda calidad, por lo que tiempos mayores a estos se consideran fuera de la norma o sin valor comercial (La Gaceta 2005).

Los altos tiempos de cocción son uno de los problemas más graves que pueden presentar los granos de frijol y trae como consecuencias un menor precio del grano, menor aceptación por parte del consumidor, mayor gasto de energía, mayor tiempo de preparación y pérdida del valor energético y nutricional (Mora 1982 y 1989). El endurecimiento del frijol es perjudicial para los productores de

frijol, quienes son penalizados por el comprador a la hora de fijar el precio del grano (IICA 2009).

La velocidad de imbibición se ha relacionado con el tiempo de cocción, ya que las variedades que presentan mayor capacidad de imbibición se cocinan en menor tiempo. Esta variable ha sido utilizada como criterio para seleccionar tempranamente variedades de grano más suave (Marques et al. 2010, Mujica et al. 2011).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las altas temperaturas, el momento y las prácticas de cosecha sobre el tiempo de cocción de los granos de dos variedades de frijol y el uso de la imbibición como un método alternativo para la estimación del tiempo de cocción, además evaluar la germinación y el vigor de las semillas de frijol sometidas a los diferentes tratamientos, con el fin de determinar si estas prácticas afectan estas variables cuando la cosecha de frijol se dedica a la producción de semilla.

5.3 Materiales y métodos

Lugar y período de la investigación

Esta investigación se inició durante el mes de noviembre del 2012 con la siembra de las parcelas, y las evaluaciones se realizaron en el año 2013, en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) ubicada en el distrito San José de Alajuela, a 840 msnm. En promedio la precipitación anual es de 1940 mm distribuidos entre mayo a noviembre y la temperatura promedio anual es de 22 °C.

Se contó con una estación meteorológica colocada a una altura de 3 metros del suelo, para el registro de las condiciones climáticas de radiación solar total, temperatura, humedad relativa del aire, la velocidad y dirección del viento. Adicionalmente, se utilizaron medidores de temperatura y humedad (Onset Computer Corporation, modelo U23 Prov v2, Bourne, MA, EUA) instalados en el campo dentro del dosel de las plantas de frijol para registrar la temperatura del aire.

Se utilizaron dos variedades de frijol, una roja y una negra. La variedad de grano negro Guaymí presenta un hábito de crecimiento tipo II-B (semirrecto indeterminado de semiguía) y se caracteriza por tener un ciclo vegetativo de 74 a 76 días a cosecha, un período de floración a los 38 días después de siembra (dds) y la madurez fisiológica a los 68 dds. La variedad de grano rojo Diquís presenta un hábito de crecimiento tipo II (indeterminada arbustiva de guía corta) y se caracteriza por tener un ciclo vegetativo de 76 a 82 días a cosecha, un período de floración entre los 32 y 37 dds y la madurez fisiológica entre los 57 y 62 d.

En el campo se establecieron cuatro parcelas grandes con condiciones de suelo similares, dos con plena exposición solar en todo el ciclo y otras dos a las cuales se les colocó un techo de sarán (sombra= 80 %) al momento de la madurez fisiológica del frijol, con el propósito de evaluar el efecto de esta sombra sobre las

variables evaluadas. Estas parcelas grandes se asignaron a conveniencia de modo que los tratamientos con sarán quedaran en el centro (Fig. 7 A y B).

La cosecha se realizó mediante dos prácticas: plantas erectas o plantas volcadas. En la práctica "planta erecta", las parcelas permanecieron en el campo hasta el momento de su recolección, y en la práctica "plantas volcadas" las parcelas se arrancaron todas en el punto de madurez de cosecha (PC) y permanecieron en el campo volcadas en manojos hasta el momento de su respectiva recolección. La recolección se realizó en cinco ocasiones, la primera en el punto de madurez de cosecha (PC) y luego cada semana hasta las cuatro semanas después de este momento (Fig. 8).

Cada parcela grande (plena exposición solar y sombra al 80 %) se dividió en sub-parcelas y se asignaron conforme un diseño completamente al azar cada combinación trifactorial de 2 x 2 x 5, donde el primer factor fue la variedad de frijol, Guaymí o Diquís, el segundo factor fue la práctica de cosecha, "planta erecta" o "planta volcada", y el tercer factor, las semanas de permanencia en el campo luego del punto de madurez de cosecha. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con dos repeticiones en la condición a plena exposición solar y sombra, y dos repeticiones para cada combinación trifactorial asignada completamente al azar dentro de cada parcela grande. El tamaño de cada sub-parcela fue de 4m².

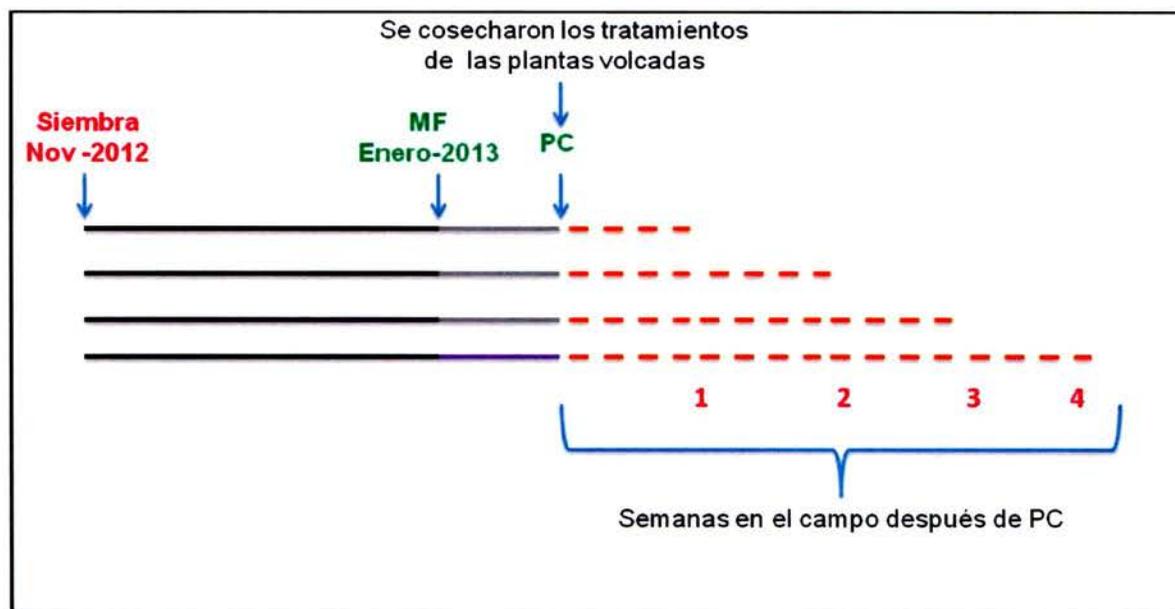


Figura 8. Cronología de las cosechas de frijol. La sombra de sarán (sombra= 80%) fue colocada durante la madurez fisiológica (MF) del frijol. Las plantas volcadas se arrancaron en el punto de madurez de cosecha (PC) y permanecieron en el campo de 1 a 4 semanas luego del PC. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.

Estrés térmico y acumulación de unidades térmicas (Grados día)

Se determinó las unidades de calor o grados día experimentados por las vainas de frijol (Snyder 1985), con el siguiente modelo:

$$\text{Grados día} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})}{2} \right] - T_b$$

Donde:

$T_{\text{máx}}$: Temperatura máxima diaria (°C).

$T_{\text{mín}}$: Temperatura mínima diaria (°C).

T_b : Temperatura mínima requerida para el crecimiento del frijol (7 °C).

Se midió la temperatura de una muestra de 128 vainas seleccionados en diferentes plantas al azar de los tratamientos que permanecieron en el campo por cuatro semanas, mediante la utilización de 32 termopares cobre-constantán (Co-Cu) operadas por un acumulador de datos (Datalogger Campbell Scientific, Modelo CR800, Logan, UT, EUA), equipado con un Multiplexer (Campbell Scientific, Modelo AM416, Logan, UT, EUA) programado para almacenar datos promedio cada 10 min. Los termopares se insertaron en el interior de las vainas de frijol y la unión de los dos metales que tienen la función de medir la temperatura se ubicaron en el interior de la vaina, el sobrante del cable se enrolló alrededor de la vaina y se cubrió con una cinta adhesiva resistente sujetar el termopar (Fig. 9 y 10).

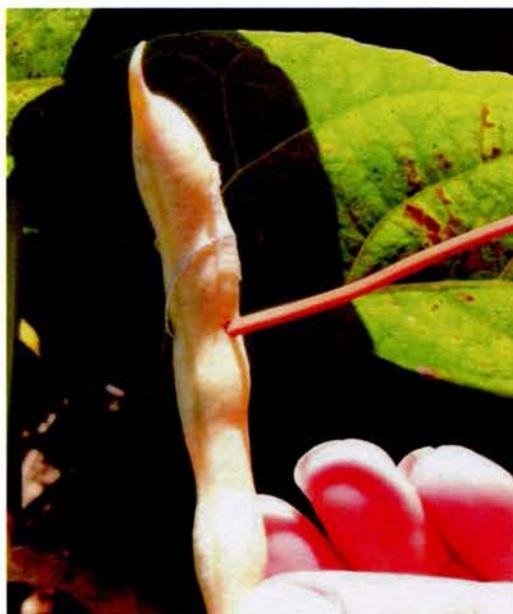


Figura 9. Vaina de frijol mostrando la instalación de un termopar para la medición de la temperatura de los granos. Estado de la vaina R8. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.

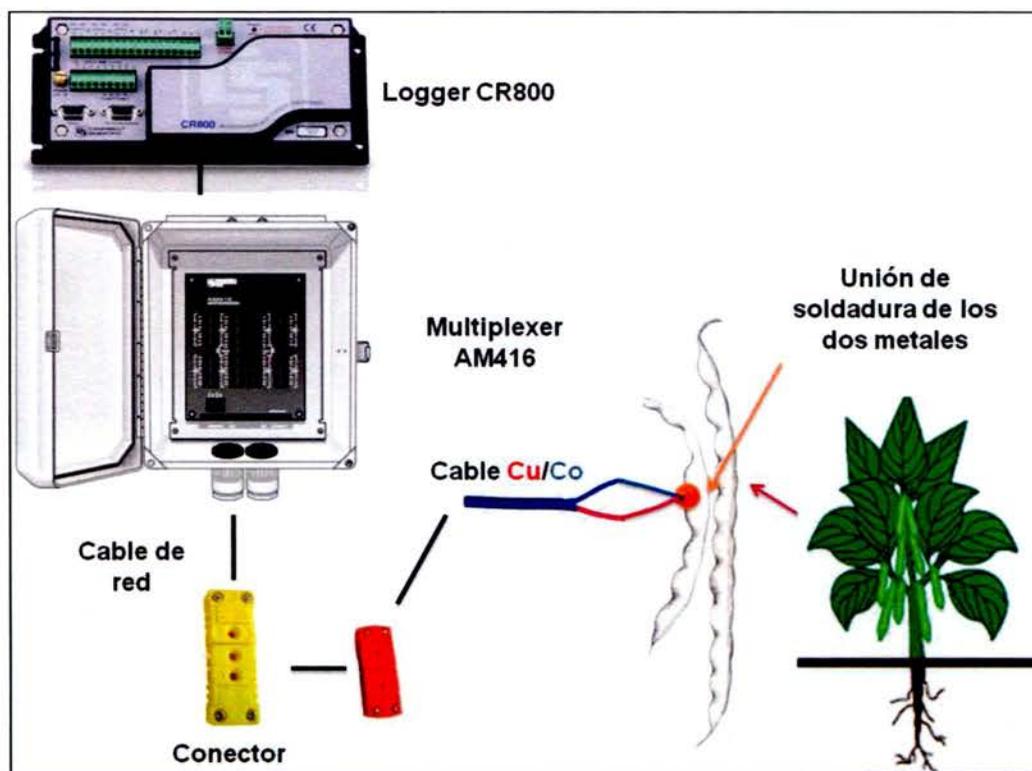


Figura 10. Instrumentación empleada para el registro de la temperatura interna de las vainas de frijol en el campo. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.

Pruebas de cocción

La humedad de los granos se determinó con un medidor portátil de humedad y temperatura (DICKEY-john Corporation, Mini GAC, Auburn IL, EUA) para granos, semillas y cereales, y las pruebas de cocción se realizaron según lo establecido en el decreto N° 32149 MEIC-S-MAG, publicado en La Gaceta N° 3 del 5 de enero del 2005; el análisis fue efectuado a 840 msnm.

Antes de realizar cada prueba de cocción, se tomaron 4 muestras de cada uno de las variedades de frijol de 500 g al azar. Durante la prueba se usó una cocina de gas con cuatro quemadores, sobre la cual se colocaron ollas de 4 L de capacidad con 1,5 L de agua que se llevó a ebullición y se agregaron 500 g de frijoles, cuando el agua volvió a hervir fue considerado como el tiempo cero. Las

evaluaciones se realizaron a los 65, 80, 95, 100 y 126 minutos como lo establece el decreto.

Para la evaluación del tiempo de cocción se tomaron muestras de 50 frijoles de cada olla y se presionaron uno por uno entre los dedos índice y pulgar. Los frijoles que se aplastaron con facilidad y no presentaron grumos duros se consideraron cocidos. El tiempo de cocción se estableció cuando la muestra obtuvo el 96 % de los frijoles cocidos.

Prueba de imbibición o capacidad de absorción de agua

Para medir la capacidad de imbibición de las variedades de frijol, se pesaron 4 muestras de 100 granos, luego se colocaron en platos de Petri con 50 ml de agua, con 2 capas de papel absorbente en el fondo y una capa encima de los granos. Cada hora se retiraron las semillas del plato de Petri y se eliminó cuidadosamente el exceso de agua con papel toalla para pesarlas, luego se colocaron de nuevo en el plato de Petri para que continuara el proceso de imbibición durante 24 horas (Rodriguez et al. 2005). La cantidad de agua embebida fue expresada en base seca y se calculó el porcentaje de absorción de agua o imbibición, mediante la fórmula:

$$\text{Absorción de agua (\%)}: \frac{\text{Peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Pruebas de germinación y vigor

Las pruebas de germinación y vigor se realizaron en el Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) con el fin de evaluar si las prácticas realizadas afectan las variables evaluadas. Se sembraron 100 semillas de cada tratamiento, con cuatro repeticiones en bandejas metálicas sobre papel especial para germinación, en cámaras de germinación a 30°C. Las evaluaciones de germinación se realizaron a los 9 días, y se consideró como germinada la semilla con una radícula de al menos 2 mm de longitud (Alizaga 1985). El vigor se determinó a los 9 días, se midieron la longitud de la raíz (cm) y de la parte aérea de la plántula (cm). Para esto se midió a partir del punto de unión entre la raíz y el tallo con una regla.

Análisis estadístico

Al porcentaje de imbibición de cada repetición trifactorial se le aplicó el modelo de crecimiento logístico (Tsoularis y Wallace 2002), descrito mediante la ecuación:

$$y = \left(\frac{H_{\max} \times H_0}{(H_{\max} - H_0) \times \text{EXP}^{(-k \times \text{hora})} + H_0} \right)$$

Los parámetros fueron estimados con el PROC NLIN y representan lo siguiente: H_0 : es la humedad del grano en base seca a la hora 0, H_{\max} : el valor máximo al que tiende la imbibición conforme pasan las horas, y k : la pendiente de la curva o la velocidad de imbibición.

Se realizó un análisis de varianza al porcentaje de imbibición, a los parámetros H_{\max} , H_0 y k , al porcentaje de germinación, a la longitud de la raíz y la altura de las plántulas, y se utilizó la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher para comparar las variedades al nivel del 5 %. Para los análisis de varianza

y las pruebas de significancia estadística se usó el PROC GLM y para la estimación de los parámetros del modelo logístico se utilizó el PROC NLIN del paquete estadístico SAS (SAS Versión 9.3, Institute Inc, Cary, NC, USA).

Las variables se analizaron conforme al modelo de un diseño experimental de parcela dividida, asumiendo que el factor de condición de plena exposición solar y sombra se asignó completamente al azar en las parcelas grandes. El término de error apropiado para comparar los tres factores asignados a las parcelas pequeñas se obtuvo teniendo en cuenta que cada combinación de estos factores se repitió dos veces en cada parcela grande, por lo que se generó una fuente de error adicional.

Los términos de error a o (Parcela (condición)) y b o ((Condición (parcela x variedad de frijol x práctica de cosecha x semanas en el campo)) se calcularon conforme al diseño de parcela dividida, el error (a) se uso para probar los efectos de las condiciones de plena exposición solar y la sombra, y el error (b) para probar las interacciones de las condiciones de luz con los otros factores (variedad, práctica de cosecha y semanas en el campo). Los principales efectos de estos tres factores y sus interacciones se evaluaron con un término de error de 80 grados de libertad, equivalente al promedio de los cuadrados medios del error de los análisis individuales de las cuatro parcelas grandes (Anexo 4).

5.4 Resultados y discusión

La radiación presentó datos aproximadamente a las 7 am y alcanzó el valor más alto de $3,5 \text{ MJ/m}^2$ a las 12 pm, luego de esta hora los valores descienden hasta las 6 pm (Fig. 11.A). La humedad relativa registrada por el medidor expuesto a la luz solar presentó los valores menores durante las horas más cálidas del día (10 am – 5 pm) y los valores mayores en las horas más frías. La estación meteorológica registró los valores menores de humedad relativa (Fig. 11.B).

La temperatura interna de las vainas no presentó diferencias entre los tratamientos con plena exposición solar y los que contaban con un techo de sarán (sombra= 80 %) instalada en la madurez fisiológica y tampoco en ambas prácticas de cosecha (Fig. 11.C y D). Las temperaturas máximas registradas por los termopares fueron de $35 \text{ }^\circ\text{C}$ y las mínimas de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Las temperaturas más altas se registraron en las parcelas expuestas a la plena exposición solar y los termopares. Durante las horas más frías (4 pm y 7 am) las temperaturas más bajas las registró el medidor colocado al pleno sol (Fig. 11.C).

Las temperaturas más altas fueron registradas a las 2:00 pm en los tratamientos con plena exposición solar, en las plantas volcadas fue de $35,20 \text{ }^\circ\text{C}$ y en plantas erectas fue de $33,03 \text{ }^\circ\text{C}$. En los tratamientos con sarán la temperatura fue de $35,04 \text{ }^\circ\text{C}$ en las plantas volcadas y de $34,50 \text{ }^\circ\text{C}$ en las plantas erectas. La temperatura del aire a esa hora bajo el sarán fue de $30,01 \text{ }^\circ\text{C}$ y en la parte de afuera fue de $33,61 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la estación meteorológica registró un $28,95 \text{ }^\circ\text{C}$. Estas diferencias en las temperaturas presentadas por los equipos de medición utilizados mostraron la importancia de realizar las mediciones en el lugar exacto del ensayo, ya que los datos pueden evidenciar con mayor fidelidad las condiciones reales a las que fueron sometidas las plantas. Sin embargo, en términos prácticos los datos climáticos registrados por estaciones meteorológicas o por equipos que no se encuentren cerca de la plantación o del ensayo sirven

como referencia y se debe tener presente que pueden existir diferencias entre ambas condiciones.

Las diferencias de temperaturas se vieron reflejadas en la acumulación de los grados día, ya que el mayor valor lo generó el medidor de temperatura y humedad expuesto al pleno sol y el menor reporte fue dado por la estación meteorológica, seguido por el medidor ubicado dentro de los techos de sarán (sombra= 80 %). Los grados días generados a partir de los datos de temperaturas de los termopares fueron similares entre ambas condiciones de exposición solar y entre ambas prácticas de cosecha; los menores fueron los calculados a partir de los datos reportados por las vainas de plantas erectas a plena exposición solar (Fig. 12).

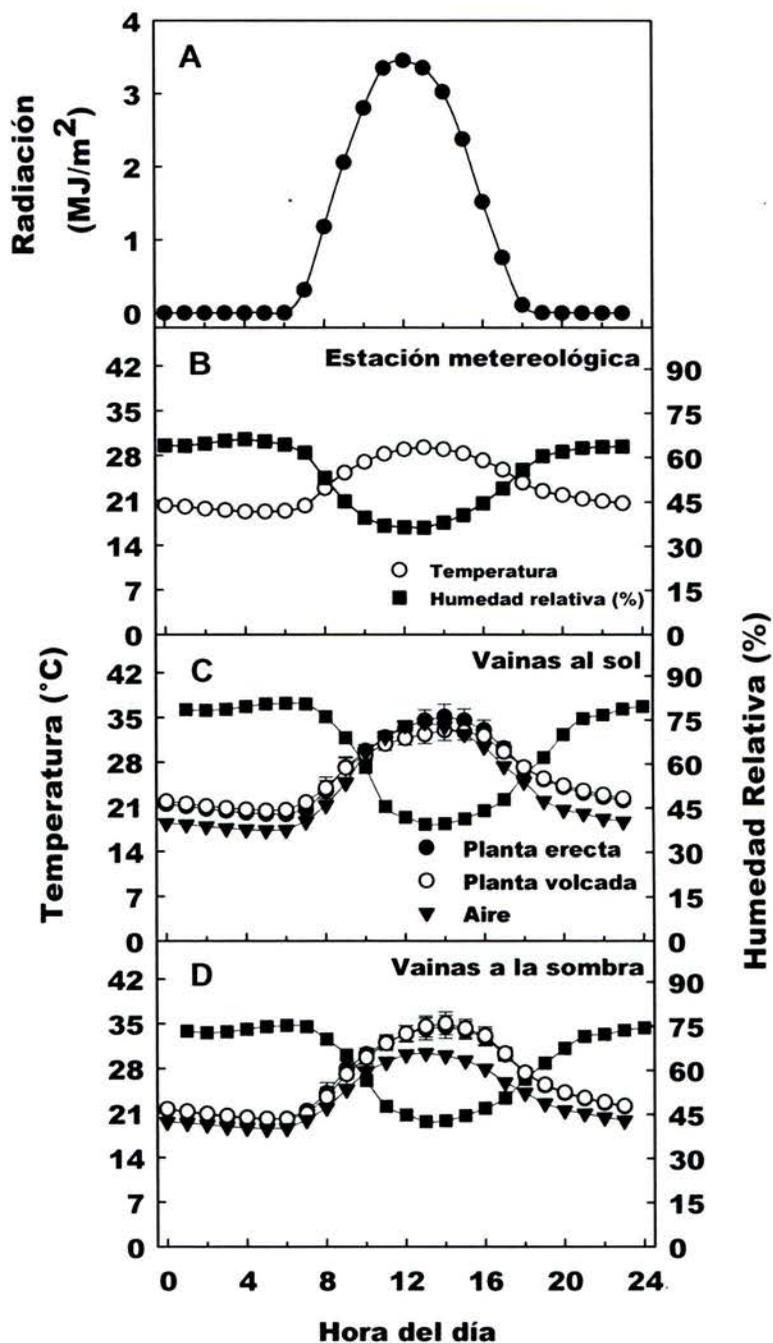


Figura 11. A Radiación. B Humedad relativa y temperatura horaria registrada por la estación meteorológica. Humedad relativa, temperatura horaria registrada del aire y del interior de las vainas de frijol a plena exposición solar (C), y del aire y del interior de las vainas de frijol bajo los techos de sarán (sombra= 80 %) (D), durante cuatro semanas en el campo luego del punto de madurez, cosechadas en dos prácticas, plantas erectas y plantas volcadas. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, en enero y febrero del 2013.

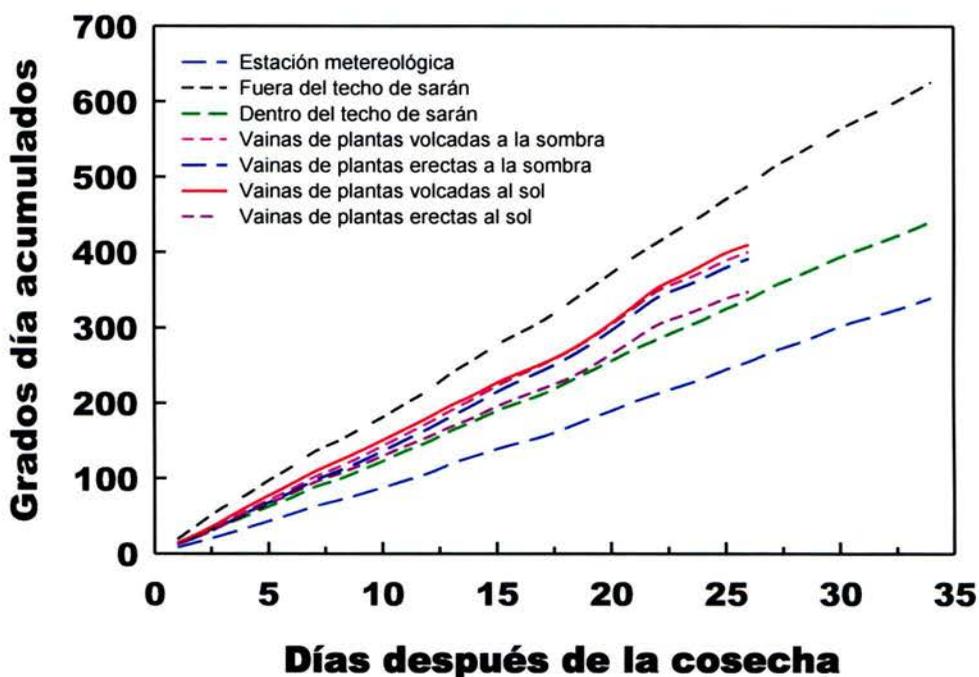


Figura 12. Grados día acumulados durante cuatro semanas, calculados a partir de los datos de temperatura generados por la estación meteorológica automática, los medidores de temperatura y humedad instalados dentro y fuera de las techos de sarán (sombra= 80%) y por los termopares insertados dentro de las vainas de frijol, en ambas prácticas de cosecha, en planta erecta y en planta volcada. Los datos generados por los termopares son de 26 días acumulados, debido a que después de esta fecha el equipo presentó inconvenientes. Temperatura base 7°C. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela, enero y febrero del 2013.

El contenido de humedad promedio a la cosecha para ambas variedades fue de 11,4 % \pm 0,08 en todos los tratamientos. El tiempo de cocción se evaluó de acuerdo al decreto establecido, por lo que solamente se tiene la información en los períodos definidos, y por esta razón no se realizó un análisis de varianza, sin embargo éste no se alteró por el uso de una cobertura de sarán (sombra= 80 %) instalada en la madurez fisiológica en ninguno de los tratamientos, por lo que no es necesario cubrir el cultivo en esta etapa de secado y maduración de los granos de frijol. La variedad roja Diquís presentó en ambas prácticas de cosecha el

mismo tiempo de cocción (95 min) y Guaymí presentó en promedio 83 min (Cuadro 8). Esto muestra que ninguna de las prácticas de cosecha realizadas por el agricultor no afectan el tiempo de cocción de los granos de frijol.

El tiempo de cocción de la variedad Guaymí se mantuvo en 80 min hasta la semana tres y luego los granos se endurecieron y presentaron una categoría mayor de 95 min en la semana cuatro, por otra parte Diquís presentó en todos los tratamientos 95 min de cocción (Cuadro 8). Esto muestra que para el frijol negro la permanencia de cuatro semanas en el campo generó endurecimiento en los granos, probablemente por un secado excesivo del grano en un tiempo muy corto. Estos resultados muestran que los períodos cortos de exposición a temperaturas elevadas y humedad relativa reducidas pueden provocar el endurecimiento de los granos de frijol (Mora 1982 y 1989). El momento de la cosecha influencia varias propiedades físicas, químicas y nutricionales de frijol, que se extienden hasta el almacenamiento, como el contenido de humedad, la capacidad de absorción de agua, el tiempo de cocción, la cantidad de compuestos fenólicos totales y la fracción proteica (Carbonell et al. 2003), por lo que la cosecha debe realizarse en el punto de madurez, para que el grano tenga las condiciones óptimas y el contenido de humedad apropiado (IICA 2009).

Las características como el color del grano pueden influir sobre el tiempo cocción, algunos autores reportan menores valores en las variedades de frijol de grano negro (Mora 1989; Muñoz et al. 2009, Mujica et al. 2011) y otros autores publican menores tiempos de cocción en variedades de grano rojo (Maurer et al. 2004, Mederos y Reynaldo 2007). En este ensayo, el menor tiempo de cocción lo presentó la variedad de grano negro Guaymí con un promedio de 83 min, mientras que Diquís presentó un tiempo de cocción de 95 min (Cuadro 8).

Cuadro 8. Tiempo de cocción (min) de los granos de frijol negro Guaymí y rojo Diquís provenientes de plantas sujetas a plena exposición solar y a una sombra a partir de la madurez fisiológica, y a dos prácticas de cosecha (plantas erectas y plantas volcadas), durante cuatro semanas en el campo después del punto de madurez de cosecha (PC), en EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela (840 msnm) 2013.

Semanas en el campo después de la cosecha	Guaymí (negra)				Diquís (roja)			
	Sol		Sombra		Sol		Sombra	
	Erecta	Volcada	Erecta	Volcada	Erecta	Volcada	Erecta	Volcada
PC	80	80	80	80	95	95	95	95
1	80	80	80	80	95	95	95	95
2	80	80	80	80	95	95	95	95
3	80	80	80	80	95	95	95	95
4	95	95	95	95	95	95	95	95

PC: Punto de madurez de cosecha.

El análisis de varianza de la imbibición reveló diferencias significativas entre las dos variedades de frijol, la condición a plena exposición solar y de sombra, las prácticas de cosecha y las semanas de permanencia en el campo después de la cosecha; las interacciones significativas se presentaron entre la condición a exposición solar, la variedad de frijol y la semanas de permanencia en el campo, y entre la variedad de frijol por la práctica de cosecha y las semanas de permanencia en el campo (Anexo 4).

Las curvas de imbibición de las variedades Guaymí y Diquís presentaron una forma similar, sin embargo hubo diferencias en la velocidad de imbibición. La variedad Guaymí embebió más rápido que Diquís en las primeras horas de iniciado el proceso de imbibición. A las cuatro horas Guaymí presentó con un porcentaje de imbibición de un 90 % en la condición a plena exposición solar y 85 % en la de sombra, mientras que Diquís presentó un 44 % en la condición a plena exposición solar y 35 % en la sombra. La variedad de grano rojo Diquís alcanzó este porcentaje hasta la séptima hora de iniciado el proceso de imbibición.

La variedad Guaymí embebió más rápido que Diquís, las mayores diferencias se presentaron en las primeras horas del proceso, y luego de las 12 horas la imbibición no mostró diferencias entre ambas variedades de frijol. El porcentaje de imbibición tendió a aumentar conforme aumentaron las semanas de permanencia del frijol en el campo, sin embargo estos aumentos son valores pequeños. Las diferencias en la capacidad de absorber agua por parte de los granos de frijol, se pueden presentar debido a las características de la testa, como el grosor, el peso, la adherencia al cotiledón, la elasticidad, la porosidad y las propiedades coloidales en la absorción de agua por parte de los granos de frijol (Esteves et al. 2002).

Las evaluaciones de absorción de agua o imbibición en granos de frijol, han sido recomendadas por diferentes períodos de tiempo según el autor, entre estos de cuatro horas (Costa et al. 2001), de ocho horas (Rodrigues et al. 2004), de 16 horas (Carbonell et al. 2003; Dalla et al. 2003) y de 18 horas como período máximo (Mederos 2006). En esta investigación, el tiempo de imbibición fue durante 24 horas y después de las 12 horas no se presentaron diferencias importantes en el aumento de la absorción de agua, por lo que no se recomienda realizar pruebas mayores a 12 horas, ya que las muestras tienden a estabilizarse a partir de esta hora (Fig. 13). La cuarta hora de iniciado el proceso de imbibición es un buen parámetro para separar variedades suaves de las más duras, ya que en ese momento se presentan diferencias importantes en la imbibición.

La variedad Guaymí absorbió agua más rápido y presentó los menores tiempos de cocción, con excepción de la semana cuatro, en comparación a la variedad Diquís que embebió más lento y se cocinó en un mayor tiempo, resultados similares han sido encontrados por otros autores (Castellanos 1995, Escibano et al. 1997, Elia et al. 1997, Kigel 1999, Dalla et al. 2003, Pérez et al. 2002). Estos datos coinciden con el criterio de que la imbibición permite seleccionar tempranamente variedades de grano suave (Marques et al. 2010, Mujica et al. 2011).

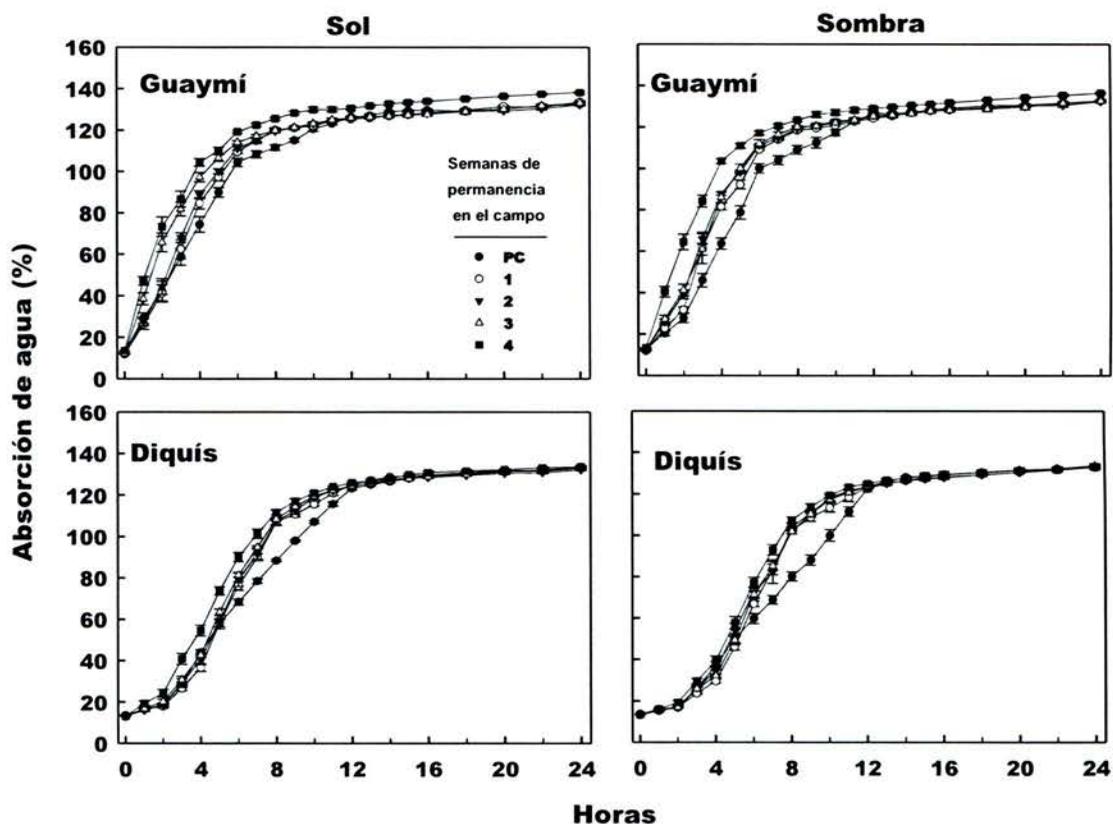


Figura 13. Imbibición de los granos de frijol Guaymí (negro) y Diquís (rojo), que permanecieron expuestos al sol o bajo una cobertura de sarán (sombra= 80 %) colocada en el momento de madurez fisiológica, durante cuatro semanas después del punto de madurez de cosecha (PC). Cada curva es el promedio de 8 repeticiones. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.

Las curvas de imbibición se calcularon mediante un modelo de crecimiento logístico para las dos variedades de frijol, definido por la siguiente ecuación

$$y = \left(\frac{H_{\max} \times H_0}{(H_{\max} - H_0) \times \text{EXP}^{(-k \times \text{hora})} + H_0} \right),$$

donde el parámetro H_{\max} es la imbibición máxima al que tiende el porcentaje de imbibición, H_0 es la humedad del grano en base seca a la hora 0 y k es la pendiente de la curva o la velocidad de absorción de agua. Estos parámetros fueron estimaciones obtenidas ajustando el modelo de

crecimiento logístico a los datos de imbibición de agua a lo largo de 24 horas (Cuadro 9).

Para el parámetro Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre la variedad de frijol, la práctica de cosecha, las semanas de permanencia en el campo y entre la interacción ($p < 0,0001$) de las variedades de frijol y las semanas de permanencia en el campo (Cuadro 9). El Hmax tuvo una tendencia decreciente en ambas variedades hasta la semana tres; el frijol rojo tuvo un Hmax mayor, no obstante en la semana cuatro en la variedad negra creció hasta igualar el de la variedad roja (Cuadro 10). Los promedios de la variedad roja y negra difirieron ($p < 0,0001$), en la roja fue 130,9 y en la negra 128,2. Entre las dos prácticas de cosecha hubo diferencias ($p = 0,0015$), los promedios fueron 129,1 y 130,1 en plantas erectas y volcadas, respectivamente, por lo que aunque se presentan diferencias significativas entre las variedades y las practicas de cosecha, las diferencias son mínimas.

Para el parámetro Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0, el análisis de varianza reveló diferencias significativas para la variedad de frijol, la práctica de cosecha y las semanas de permanencia en el campo, y entre las interacciones de variedad de frijol por práctica de cosecha, de variedad de frijol por semanas de permanencia en el campo, y la condición a exposición solar por variedad de frijol (Cuadro 9). El efecto de la condición a plena exposición solar o la sombra no varió con las semanas de permanencia en el campo y con las prácticas de cosecha. La diferencia en el Ho entre la plena exposición solar y la sombra fue mayor en el frijol negro que en rojo (interacción condición x variedad de frijol, $p = 0,0127$). Para la condición a plena exposición solar, el frijol negro presentó un valor de 19,8 de Ho, mientras que el frijol rojo presentó un valor de 9,6. Para la condición de sombra, el frijol negro presentó 15,6 y el rojo 7,5. Ho tendió a aumentar conforme pasaron las semanas de permanencia en el campo (interacción variedad de frijol x semanas en el campo, $p < 0,001$), este efecto fue mayor en el frijol negro que en

rojo, el promedio de H_0 para el frijol negro fue de 17,7 y para el rojo fue de 8,6 ($p < 0,0001$). Con respecto a las prácticas de cosecha, en las plantas erectas el H_0 fue mayor que en plantas volcadas, independientemente de la condición a plena exposición solar, la variedad, y la semana de permanencia en el campo. Se encontró una interacción entre la práctica de cosecha y la variedad de frijol ($p < 0,0001$); en la práctica en plantas erectas el frijol negro presentó un valor de H_0 de 19,4 y el rojo de 8,97, en la práctica en plantas volcadas el frijol negro presentó un valor de 16 y el rojo de 8,13.

La condición de exposición solar no tuvo efecto en la velocidad de imbibición del agua o el valor k , independientemente de la variedad, la práctica de cosecha y la semana de permanencia en el campo (Cuadro 9). El análisis de varianza presentó diferencias en el valor k entre las variedades de frijol ($p < 0,0001$), para el frijol negro el valor k fue de 0,65 y para frijol rojo de 0,49. En el frijol negro, en la práctica en plantas erectas dio un k mayor que en plantas volcadas ($p < 0,0001$), en el frijol rojo no hubo efecto de la práctica ($p = 0,8150$). El efecto en k en las semanas de permanencia en el campo fue estable en ambas variedades, y las diferencias reflejaron que la variedad negra tuvo un k mayor, por lo que se cocinó y embebió más rápido que la variedad roja (Cuadro 10).

Cuadro 9. Niveles de significancia observados (probabilidades) de las fuentes de variación consideradas en los modelos de crecimiento logístico de Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0 y k o la pendiente de la curva o la velocidad de absorción de agua. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.

Fuente	Grados de libertad	Pr > F		
		Hmax	Ho	k
Condición (Plena exposición solar o sombra)	1	0.9251	0.0634	0.8603
Parcela (Condición)= E _a	2			
Variedad de frijol (Rojo o negro)	1	<.0001	<.0001	<.0001
Práctica de cosecha (En planta erecta o volcada)	1	0.0015	<.0001	0.0008
Variedad de frijol x Práctica de cosecha	1	0.0801	<.0001	0.0022
Semanas en el campo	4	<.0001	<.0001	<.0001
Variedad de frijol x semanas en el campo	4	<.0001	<.0001	0.1374
Práctica de cosecha x semanas en el campo	4	0.4379	0.5517	0.0113
Variedad de frijol x Práctica de cosecha x Semanas en el campo	4	0.5939	0.5023	0.0116
Condición x Variedad de frijol	1	0.2401	0.0127	0.5032
Condición x Práctica de cosecha	1	0.3298	0.1163	0.4972
Condición x Semanas en el campo	4	0.1541	0.0608	0.4505
Condición x Variedad de frijol x Práctica de cosecha	1	0.2517	0.7743	0.5767
Condición x Variedad de frijol x Semanas en el campo	4	0.8283	0.1694	0.8004
Condición x Práctica de cosecha x Semanas en el campo	4	0.4879	0.4448	0.2203
Condición x Variedad de frijol x Práctica de cosecha x Semanas en el campo	4	0.4462	0.6272	0.1332
Condición (Parcela x Variedad de frijol x Práctica de cosecha x Semanas en el campo)= E _b	38			
Error= E _c		80	80	80

La interacción entre la variedad de frijol y las semanas de permanencia en el campo fue significativa para las variables Hmax y Ho, la variable k no presentó diferencias significativas (Cuadro 9 y 10). El valor de Hmax no presentó una tendencia en ambos tipos de frijol, por lo que las semanas en el campo no afectaron esta variable (Cuadro 10).

La variable Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0 presentó una tendencia a aumentar conforme pasan las semanas en el campo, para el frijol negro el Ho varió de 16,4 a 24,2, y en el frijol rojo la tendencia fue a disminuir conforme pasaron las semanas, de un valor de 11,1 a 9,7 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Parámetros calculados de la interacción entre la variedad de frijol por las semanas de permanencia en el campo, para los parámetros Hmax o el valor máximo al que tiende el porcentaje de imbibición conforme pasan las horas, Ho o la humedad del grano en base seca a la hora 0 y k o pendiente de la curva o la velocidad de absorción. EEAFBM, en Barrio San José de Alajuela 2013.

Variedades	Parámetros	Semanas de permanencia en el campo después de la cosecha				
		PC	1	2	3	4
Frijol negro Guaymí	Hmax	128,8 d	127,2 e	127,1 e	126,9 e	131,2 b
	Ho	16,4 bc	13,9 d	15,7 cd	18,4 b	24,2 a
	k	0,5 c	0,7 b	0,7 b	0,7 ab	0,7 a
Frijol rojo Diquís	Hmax	133,0 a	130,8 bc	129,9 cd	130,4 bc	130,7 bc
	Ho	11,1 e	6,9 g	7,3 g	7,7 fg	9,7 ef
	k	0,4 d	0,5 c	0,5 c	0,5 c	0,5 c

PC: Punto de madurez de cosecha. Medias con una letra en común en la misma fila no son significativamente diferentes según la prueba de Fisher ($p > 0,05$).

Para los datos de germinación, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre la variedad de frijol (Guaymí y Diquís) y las semanas de permanencia en el campo. La condición de exposición solar y las prácticas de cosecha no generaron diferencias significativas en esta variable (Cuadro 11). El porcentaje de germinación del frijol negro presentó menos variación durante las semanas de permanencia en el campo que el frijol rojo, ya que éste disminuyó a partir de la semana tres de 93 % a 87 % (Fig. 14). El retraso en la germinación de las semillas puede reducir la cantidad de plántulas que se establecen, ya que se incrementa la posibilidad de que la semilla y la plántula sean colonizadas por habitantes del suelo (Soltani et al. 2006). Al inicio de la germinación es posible que las semillas no tengan la capacidad adecuada de absorción de agua para iniciar los procesos metabólicos de la germinación (Gontia y Awasthi 1999).

La temperatura de secado de la semilla no debe exceder los 43 °C, ya que valores superiores pueden causar daños en las estructuras de la semilla y provocar la muerte del embrión (Alizaga 1985). Sin embargo en este ensayo se presentó en promedio temperaturas máximas de 35 °C, y se observó una disminución de la germinación de la variedad Diquís a partir de la semana tres de permanencia en el campo luego del punto de madurez de cosecha, por lo que la mezcla de altas temperaturas y mayor tiempo de secado en el campo puede afectar la germinación de los semillas de frijol.

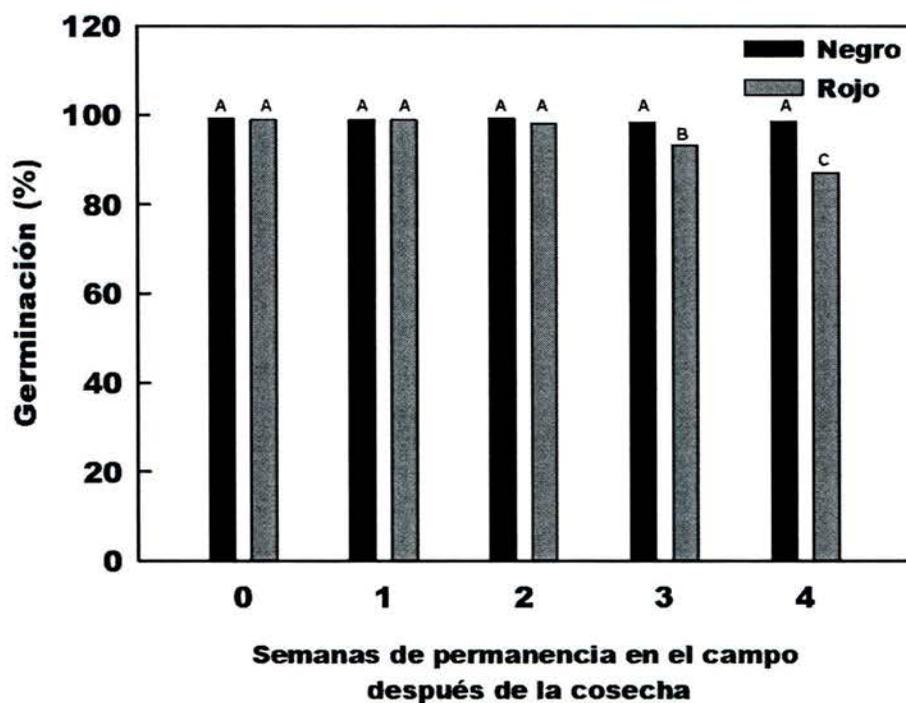


Figura 14. Germinación (%) de dos variedades de frijol, Guaymí (negro) y Diquís (rojo), que permanecieron en el campo durante cuatro semanas después del punto de madurez de cosecha, evaluada a los 9 días. La semana 0 se refiere al punto de madurez de cosecha. CIGRAS, en San Pedro 2013.

La longitud de la raíz presentó diferencias significativas para la variedad de frijol, las semanas de permanencia en el campo y la interacción entre la variedad por las semanas, las prácticas de cosecha por las semanas de permanencia en el

campo, la condición de exposición solar por semanas (Cuadro 11). La longitud de la raíz presentó diferencias entre la variedad de frijol ($p < 0,0001$), el frijol negro presentó un promedio de 12,1 cm y para el rojo fue 13,7 cm. La interacción de la variedad de frijol por las semanas de permanencia en el campo mostró que el frijol rojo presentó siempre mayor largo de la raíz. La interacción entre las condiciones de exposición solar y las semanas de permanencia en el campo presentaron diferencias significativas ($p = 0,00015$); los valores promedio de la condición de sombra fueron menores en comparación a la plena exposición solar.

La triple interacción entre la condición de exposición solar, la variedad de frijol y las prácticas de cosecha presentaron diferencias significativas, donde se observó de manera general que la variedad de frijol rojo presentó mayor longitud de raíz con respecto a la variedad negra (Fig. 15), sin embargo estas diferencias gráficamente son pequeñas.

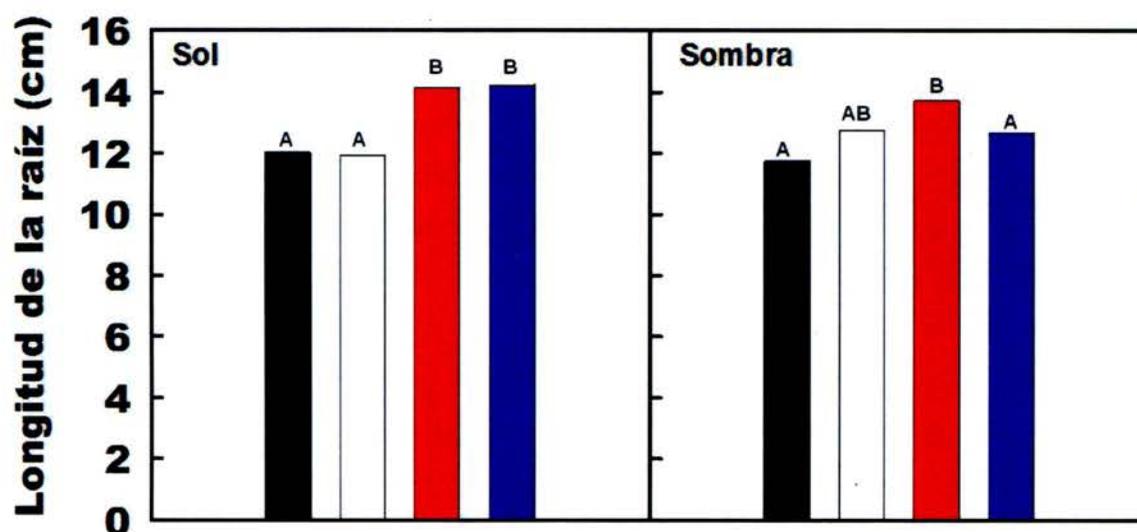


Figura 15. Longitud de la raíz de las plántulas (cm) de frijol Guaymí (negro) y Diquís (rojo) sometidas a dos condiciones de exposición solar (sol y sombra) que fueron cosechadas bajo dos prácticas. Las barras negras representan al frijol negro cosechado de plantas erectas y las blancas de plantas volcadas, las barras rojas representan el frijol rojo cosechado de plantas erectas y las azules de plantas volcadas. CIGRAS, en San Pedro 2013.

La altura de la plántula presentó diferencias significativas en las semanas de permanencia en el campo, y las interacciones entre de la condición de exposición solar por variedad, condición de exposición solar por semanas de permanencia en el campo (Cuadro 11). La interacción entre la condición de exposición solar por semanas presentó diferencias significativas ($p = 0,0023$), la altura de la plántula en la condición a plena exposición solar presentó valores mayores que la condición de sombra. La triple interacción entre la condición de exposición solar, la práctica de cosecha y las semanas en el campo presentó diferencias significativas (Cuadro 11), sin embargo esta variable también presentó diferencias pequeñas entre los valores (Cuadro 12).

A pesar de que algunas interacciones presentaron diferencias significativas en las variables de la longitud de raíz y la altura de plántula, esas diferencias son pequeñas y gráficamente los datos no explican algún efecto biológico de los tratamientos aplicados. En promedio la longitud de la raíz fue de 12,1 cm para Guaymí y 13,7 para Diquís, y la altura de las plántulas fue en promedio de 12,6 cm datos que coinciden con los publicados por Celis et al. (2008) que reportó valores entre 10 cm y 12 cm para el largo de la raíz, sin embargo presentó valores mayores de altura de plántula, entre 21 cm y 24 cm. El establecimiento de las plántulas en el campo depende de las características fisiológicas y bioquímicas de la semilla, que determinan su eficiencia en el uso de sus reservas para iniciar y sostener el crecimiento, antes de que éstas se transformen en un organismo autótrofo (Soltani et al. 2006). Por lo que, el vigor de las semillas es afectado por las condiciones ambientales en el campo porque dependen de las reservas, y del tiempo transcurrido entre la madurez fisiológica y la cosecha, el daño mecánico, los tratamientos químicos, las condiciones de temperatura y humedad durante el secado y el almacenamiento (Ospina y Acosta 1980).

Cuadro 11. Niveles de significancia observados (probabilidades) de la germinación (%), la longitud de raíz (cm) y la altura de la plántula (cm) de los granos de frijol negro Guaymí y rojo Diquís, sometidos a dos condiciones de exposición solar, a dos prácticas de cosecha, en planta erecta y en planta volcada, que permanecieron en el campo cuatro semanas después del punto de madurez de cosecha. CIGRAS, en San Pedro 2013.

Fuente	Grados de libertad	Pr > F		
		Germinación (%)	Longitud de la raíz (cm)	Altura de la plántula (cm)
Condición (Plena exposición solar o sombra)	1	0,0075	0,2619	0,0344
Parcela (Condición)= E _a	2			
Variedad de frijol (Rojo o negro)	1	<,0001	<,0001	0,1515
Práctica de cosecha (En planta erecta o volcada)	1	0,4806	0,9253	0,1843
Variedad de frijol x Práctica de cosecha	1	0,0095	0,0536	0,712
Semanas en el campo	4	<,0001	0,0078	0,0039
Variedad de frijol x semanas en el campo	4	<,0001	0,0137	0,5643
Práctica de cosecha x semanas en el campo	4	0,101	0,0447	0,0976
Variedad de frijol x Práctica de cosecha x Semanas en el campo	4	0,0652	0,2942	0,0616
Condición x Variedad de frijol	1	0,3114	0,0099	<,0001
Condición x Práctica de cosecha	1	0,3968	0,9643	0,6385
Condición x Semanas en el campo	4	0,1305	0,0015	0,0023
Condición x Variedad de frijol x Práctica de cosecha	1	0,5649	0,0209	0,2434
Condición x Variedad de frijol x Semanas en el campo	4	0,1453	0,313	0,0217
Condición x Práctica de cosecha x Semanas en el campo	4	0,1156	0,004	0,0194
Condición x Variedad de frijol x Práctica de cosecha x Semanas en el campo	4	0,0087	0,3914	0,1619
Condición (Parcela x Variedad de frijol x Práctica de cosecha x Semanas en el campo)= E _b	38			

Cuadro 12. Altura de las plántulas (cm) de frijol Guaymí (negro) y Diquís (rojo) sometidas a dos condiciones de exposición solar (sol y sombra) que permanecieron en el campo por cuatro semanas después del punto de madurez de cosecha. CIGRAS, en San Pedro 2013.

Semanas en el campo después de la cosecha	Sol		Sombra	
	Frijol negro	Frijol rojo	Frijol negro	Frijol rojo
PC	14,0 ±0,4 b	13,0 ±0,7 b	11,6 ±0,3 b	12,2 ±0,4 a
1	13,3 ±0,3 b	13,5 ±0,4 b	11,4 ±0,2 ab	12,5 ±0,4 ab
2	13,1 ±0,5 b	10,7 ±0,5 a	10,6 ±0,3 a	13,4 ±0,4 b
3	11,6 ±0,4 a	10,8 ±0,5 a	11,4 ±0,4 ab	12,3 ±0,4 a
4	13,2 ±0,4 b	13,3 ±0,4 b	10,8 ±0,3 ab	12,4 ±0,4 ab

PC: Punto de madurez de cosecha. Medias con una letra en común en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según la prueba de DMS de Fisher.

5.5 Conclusiones

La vaina del frijol constituye un aislante suficiente para proteger los granos durante el período de cosecha y secado de las plantas en campo durante la época seca, por lo que no hay necesidad de utilizar ningún tipo de cobertura para proteger el grano de altas temperaturas.

Las prácticas de cosechas realizadas, ya sea dejar las plantas erectas en el campo o arrancarlas y volcarlas agrupadas en manojos, no influye en la calidad del grano ni el tiempo de cocción.

No se recomienda la permanencia en el campo de las plantas de frijol por más de tres semanas luego del punto de madurez de cosecha, ya que la combinación de altas temperaturas y largos períodos de secado pueden provocar daños con respecto al tiempo de cocción y la germinación.

Las mediciones de los datos climáticas como la temperatura y la humedad relativa se deben realizar en el lugar del ensayo, si es posible en el órgano de la planta estudiado, para poder registrar con mayor fidelidad las condiciones reales a las que fueron sometidas las plantas. De no ser posible esta situación, los datos meteorológicos deben servir como referencias, sin embargo hay que considerar que pueden existir diferencias entre ambas condiciones.

El tiempo de cocción presentó una relación inversa con la imbibición, ya que la variedad Guaymí absorbió agua más rápido en las primeras horas de iniciado el proceso de imbibición y se cocinó en menor tiempo.

5.6 Literatura citada

- Acosta, E; Acosta, J; Amador, M; Padilla, J. 2008. Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. *Agricultura Técnica en México* 34(1):13-20.
- Aguilera, J; Hau, M; Villablanca, W. 1986. The effect of solar drying and heating on the hardness of *Phaseolus* beans during storage. *Journal of Stored Products Research* 22(4):243-247.
- Alizaga, R. 1985. Efecto de la temperatura de secado y del contenido de humedad durante el almacenamiento sobre la calidad de la semilla de frijol. *Agronomía Costarricense* 9(2):165-170.
- Carbonell, S; Carvalho, C; Pereira, V. 2003. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. *Bragantia* 62(3):369-379.
- Castellanos, J; Guzmán, H; Acosta, J; Kelly, J. 1995. Effects of hardshell character on cooking time of common beans grown in the semiarid highlands of Mexico. *Journal Sci. Food Agriculture* 69(4):437-443.
- Celis, R; Peña, C; Luna, M; Aguirre, J; Carballo, A; Trejo, C. 2008. Variabilidad morfológica seminal y del vigor inicial de germoplasma mejorado de frijol. *Agronomía Mesoamericana* 19(2):179-193.
- Costa, M; Pham, A; Pimentel, C; Pereyra, R; Zuily, Y; Laffray, D. 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 43(3):227-237.
- Dalla, A; Moda, V; dos Santos, M; Destro, D. 2003. Environment effect on grain quality in early common bean variedades and lines. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 3(3):193-202.
- Elia, F; Hosfield, G; Kelly; Uebersax, M. 1997. Genetic analysis and interrelationships between traits for cooking time, water absorption, and protein and tannin content of andean dry beans. *Journal Amer. Soc. Hort. Science*. 122(4):512-518.

- Escoto, N. 2011. El cultivo de frijol. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Honduras. 43 p.
- Escribano, M; Santalla, M. Ron, A. 1997. Genetic diversity in pod and seed quality traits of common bean populations from northwestern Spain. *Euphytica* 93(1):71-81.
- Esteves, A; Patto, C. Donizete, C; Duarte, A. 2002. Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cienc. Agrotec, Lavras*. 26(5):999-1005.
- FAO. 1990. Utilización de alimentos tropicales: frijoles tropicales. Estudio FAO Alimentación y Nutrición. Serie Cuadernos Técnicos de la FAO 47/4. Roma Italia. 80 p.
- Gontia, S; Awasthi, M. 1999. Effect of seed grading by size on various seed vigour attributes, morpho-physiological characters and seed yield in soybean (*Glycine max* L.) Merrill genotypes. *Seed Research* 27(1): 25-30.
- Galván, M; Kohashi, J; García, A; Yáñez, P; Martínez, E; Ruiz, L. 2003. Déficit hídrico en planta, acumulación de biomasa y área foliar en tres etapas vegetativas en frijol común. *Agricultura Técnica en México* 29(2):101-111.
- IICA. 2009. Guía técnica para el cultivo del frijol. ASOPROL. Nicaragua. 28 p.
- INTA. 2008. Manual de recomendaciones técnicas. Cultivo de frijol. San José. Costa Rica. 82 p.
- Kigel, J. 1999. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 3(4):205-209.
- Lyndon, R (ed). 1992. The environmental control of reproductive development. 9-32. En "Fruit and seed production: Aspects of development, environmental physiology and ecology, Marshall, C; Grace, J (eds). Cambridge University Press. 256 p.
- Marques, M; Jaeger, L; Regina, M; Viana, J; Hohn, A; Gomes, E. 2010. Water absorption, hard shell and cooking time of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Food Science and Technology* 1(1):13-20.

- Maurer, G; Banu, F; Ozen, L; Mauer, S; Nielsen, S. 2004. Analysis of Hard-to-cook red and black common beans using Fourier transform infrared spectroscopy. *J. Agric. Food Chemistry* 52(6):1470-1477.
- Mederos, Y. 2006. Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales* 27(3):55-62.
- Mederos, Y; Reynaldo, I. 2007. Determinación de indicadores de calidad de 11 genotipos de la especie *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales* 28(4):51-56.
- Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC); Ministerio de Salud; Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2005. Decreto Ejecutivo N°32149-MEIC-MAG-S. Reglamento Técnico RTCR 384:2004 Frijol en Grano. *La Gaceta. Diario Oficial (CR)*. Enero. 3:2-6.
- Mora, M. 1982. Influencia de diferentes temperaturas y contenidos de humedad sobre el tiempo de cocción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) almacenado durante 18 meses. *Agronomía Costarricense* 6(1/2):87-89.
- Mora, M. 1989. Comparación del tiempo de cocción de ocho variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit* 22(2):32-36.
- Muasya, R; Lommen, W; Muui, C; Struik, P. 2002. Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pod fractions within a crop I. Seed growth and maturity. *Field Crop Res.* 75(1): 63-78.
- Muasya, R; Lommen, W; Muui, C; Struik, P. 2008. How weather during development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) affects the crops maximum attainable seed quality. *Wageningen Journal of Life Sciences* 56(1-2):85-100.
- Mujica, M; Granito, M; Soto, N. 2011. Propiedades físicas y calidad de cocción de leguminosas cultivadas en Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía Luz* 28(1):104-122.
- Muñoz, E; Rubio, E; Bernal, D; Garza, I; Jacinto, C. 2009. Caracterización de genotipos nativos de frijol del estado de Hidalgo, con base a calidad del grano. *Agricultura Técnica en México* 35(4): 429-438.

- Oliveira; A, Patto, C; Duarte, A. 2003. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Cien. Tecnol. Aliment. 23:39-45.
- Ospina, H; Acosta, A. 1980. Semilla de frijol de buena calidad. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 37 p.
- Pérez, P; Esquivel, G; Rosales, G; Acosta, J. 2002. Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 52(2):172-180.
- Rainey, K; Griffiths, P. 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. Journal of the American Society for Horticultural Science 130(1):18-23.
- Rodrigues, J; Dalfollo, N; Luiz, N; Grigoletto, P; Cargnelutti, A. 2004. Standardization of imbibition time of common bean grains to evaluate cooking quality. Crop Breeding and Applied Biotechnology 4:465-471.
- Rodrigues, J; Dalfollo, N; Medianeira, P; Cargnelutti, F; Camacho, D. 2005. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de variedades de feijão. Ciencia Rural 35(1):6 p.
- Snyder, L. 1985. Hand calculating degree days. Agric. For. Meteorol. 35(14):353-358.
- Soltani, A; Robertson, J; Torabi, B; Yousefi, M; Sarparast, R. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influences by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology 138(1-4):156-167.
- Tsoularis, A. Wallace, J. 2002. Analysis of logistic growth models. Mathematical Biosciences 179(1):21-55.
- Turner, N; Kramer, P. 1980. Adaptation of plants to water and high temperature stress. US. Wiley-Interscience. 482 p.

Anexos

Anexo 1: Análisis de la varianza de las variables morfológicas del frijol

Variable: Peso de 100 granos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso	32	0,83	0,78	5,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	109,73	7	15,68	17,02	<0,0001
Variedad	109,73	7	15,68	17,02	<0,0001
Error	22,10	24	0,92		
Total	131,83	31			

Variable: Largo (mm) del grano

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Largo	80	0,50	0,45	5,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	19,54	7	2,79	10,09	<0,0001
Variedad	19,54	7	2,79	10,09	<0,0001
Error	19,91	72	0,28		
Total	39,45	79			

Variable: Ancho (mm) del grano

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ancho	80	0,17	0,08	4,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,20	7	0,17	2,05	0,0606
Variedad	1,20	7	0,17	2,05	0,0606
Error	6,02	72	0,08		
Total	7,22	79			

Variable: Grosor (mm) del grano

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Grosor	80	0,67	0,64	7,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15,05	7	2,15	21,18	<0,0001
Variedad	15,05	7	2,15	21,18	<0,0001
Error	7,31	72	0,10		
Total	22,36	79			

Variable: Volumen (ml) del grano

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Volumen	80	0,95	0,95	2,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	134,98	7	19,28	206,40	<0,0001
Variedad	134,98	7	19,28	206,40	<0,0001
Error	6,73	72	0,09		
Total	141,70	79			

Variable: Porcentaje de testa del grano

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proporción de testa	200	0,91	0,91	2,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	105,67	7	15,10	286,56	<0,0001
Variedad	105,67	7	15,10	286,56	<0,0001
Error	10,11	192	0,05		
Total	115,79	199			

Anexo 2: Análisis de varianza de los datos de imbibición de los granos de frijol registrados durante un año de almacenamiento

Variable dependiente: Imbibición para el frijol negro

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	43	236870.5375	5508.6172	245.24	<.0001
Error	132	2965.0433	22.4624		
Total corregido	175	239835.5808			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Imbibición Media
0.987637	5.804548	4.739457	81.65074

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Variedad	3	225533.6017	75177.8672	3346.82	<.0001
Días de evalua.	10	7233.0368	723.3037	32.20	<.0001
Var*DíasEval	30	4103.8990	136.7966	6.09	<.0001

Variable dependiente: Imbibición para el frijol rojo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	43	5357.087506	124.583430	4.61	<.0001
Error	132	3569.659590	27.042876		
Total corregid	175	8926.747097			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Imbibición Media
0.600116	22.44059	5.200277	23.17353

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Variedad	3	1445.316563	481.772188	17.82	<.0001
Días de eval.	10	2498.933569	249.893357	9.24	<.0001
Var*DíasEval	30	1412.837374	47.094579	1.74	0.0178

Anexo 3: Análisis de varianza de los datos de imbibición de los granos de frijol con y sin la presencia de una incisión en la testa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Imbibición	1344	0,34	0,34	39,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	844910,32	15	56327,35	46,31	<0,0001
Tratamiento	311290,19	1	311290,19	255,94	<0,0001
Variedad	358510,74	7	51215,82	42,11	<0,0001
Tratamiento*Variedad	175109,38	7	25015,63	20,57	<0,0001
Error	1615194,19	1328	1216,26		
Total	2460104,51	1343			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,73240

Error: 1216,2607 gl: 1328

Tratamiento Medias n E.E.

Con incisión 102,78 672 1,35 A

Sin incisión 72,34 672 1,35 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,46479

Error: 1216,2607 gl: 1328

Variedad	Medias	n	E.E.	
UCR55	112,51	168	2,69	A
Matambú	105,69	168	2,69	A B
Guaymí	104,71	168	2,69	B
Diquís	82,23	168	2,69	C
Bribri	78,77	168	2,69	C
Negro brillante	76,09	168	2,69	C
Cabécar	75,39	168	2,69	C
Tayní	65,12	168	2,69	D

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10,55681

Error: 1216,2607 gl: 1328

Tratamiento	Variedad	Medias	n	E.E.					
Sin incisión	UCR55	114,11	84	3,81	A				
Con incisión	Matambú	112,60	84	3,81	A	B			
Con incisión	UCR55	110,90	84	3,81	A	B	C		
Con incisión	Guaymí	105,86	84	3,81	A	B	C	D	
Sin incisión	Guaymí	103,55	84	3,81		B	C	D	E
Con incisión	Negro brillante	102,83	84	3,81		B	C	D	E
Con incisión	Cabécar	101,11	84	3,81			C	D	E
Con incisión	Diquís	99,13	84	3,81				D	E
Sin incisión	Matambú	98,79	84	3,81				D	E
Con incisión	Tayní	96,03	84	3,81				D	E
Con incisión	Bribri	93,79	84	3,81					E
Sin incisión	Diquís	65,33	84	3,81					F
Sin incisión	Bribri	63,76	84	3,81					F
Sin incisión	Cabécar	49,66	84	3,81					G
Sin incisión	Negro brillante	49,35	84	3,81					G
Sin incisión	Tayní	34,20	84	3,81					H

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 4: Análisis de varianza de los datos de imbibición de los granos de frijol sometidos a plena exposición solar y a la sombra de una cobertura de sarán, cosechadas en dos prácticas de cosecha (plantas erectas y volcadas), que permanecieron en el campo cinco semanas después del punto de madurez de cosecha

Procedimiento GLM

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Condición	2	Luz Sombra
Parcela	2	1 2
Frijol	2	Negro Rojo
Practica	2	EnPlanta Volcada
Semanas	5	0 1 2 3 4
Rep	2	1 2
Número de observaciones leídas		160
Número de observaciones usadas		160

Procedimiento GLM

Variable dependiente: Porcentaje de imbibición

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	79	110441.4001	1397.9924	59.89	<.0001
Error	80	1867.3790	23.3422		
Total corregido	159	112308.7792			

	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Imbibición Media
	0.983373	7.648394	4.831381	63.16856

Fuente	DF	Tipo III SS	la media	Cuadrado de F-Valor	Pr > F
Condición	1	2140.00327	2140.00327	91.68	0.0439
Parcela(Condición)E _a	2				
Variedad de Frijol	1	92416.01756	92416.01756	3959.18	<.0001
Práctica de cosecha	1	977.87377	977.87377	41.89	<.0001
Var de Frijol*Practica	1	105.47880	105.47880	4.52	0.0366
Semanas en el campo	4	8019.27010	2004.81753	85.89	<.0001
Var de Frijol*Semanas	4	4064.80563	1016.20141	43.53	<.0001
Practica*Semanas	4	36.75526	9.18881	0.39	0.8126
Frijol*Práctica*Semanas	4	150.85580	37.71395	1.62	0.1784
Condición*Frijol	1	151.5739556	151.5739556	4.69	0.0367
Condición*Practica	1	79.2000306	79.2000306	2.45	0.1259
Condición*Semanas	4	271.1336438	67.7834109	2.10	0.1004
Condición*Frijol*Práct	1	81.7817006	81.7817006	2.53	0.1201
Condición*Frijol*Seman	4	378.2681538	94.5670384	2.92	0.0334
Condición*Práctica*Sem	4	83.1362663	20.7840666	0.64	0.6354
Cond*Frijol*Práct*Sema	4	55.44247	13.86062	0.59	0.7871
Con(Par*Fri*Pra*Sem) E _b	38				

```

PROC GLM DATA=ENS1; CLASS Condición Parcela Frijol Practica Semanas
Rep;
MODEL Humbaseca =Condición Parcela(Condición)
Frijol|Practica|Semanas Condición*Frijol Condición*Practica
Condición*Semanas
Condición*Practica*Frijol Condición*Semanas*Frijol
Condición*Practica*Semanas Condición*Frijol*Practica*Semanas
Condición(Frijol*Practica*Semanas*Parcela)/ss3;
TEST H=Condición E=Parcela(Condición);
TEST H=Condición*Frijol Condición*Practica Condición*Semanas
Condición*Practica*Frijol Condición*Semanas*Frijol
Condición*Practica*Semanas Condición*Frijol*Practica*Semanas
E=Condición(Frijol*Practica*Semanas*Parcela);
RUN;

```