

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

DETERMINACIÓN DEL DAÑO MECÁNICO Y DEL DETERIORO FISIOLÓGICO EN LA
SEMILLA DE FRIJOL, POR DIFERENTES PROCEDIMIENTOS DE DESGRANADO
TESIS DE GRADO

BYRON NORBERTO MOYA MEJÍA
CARNET 22405-06

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2014
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

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

DETERMINACIÓN DEL DAÑO MECÁNICO Y DEL DETERIORO FISIOLÓGICO EN LA
SEMILLA DE FRIJOL, POR DIFERENTES PROCEDIMIENTOS DE DESGRANADO
TESIS DE GRADO

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

POR
BYRON NORBERTO MOYA MEJÍA

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

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2014
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

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

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

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

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. DOMINGO FILIBERTO CASTILLO MONTERROSO

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES
ING. JORGE ALFREDO CARDONA ORELLANA
ING. OSCAR ROLANDO SALAZAR CUQUE

Guatemala, 17 de Noviembre de 2014

Miembros
Comisión de Trabajos de Graduación
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Guatemala

Distinguidos miembros de la comisión:

Por este medio informo a ustedes que he asesorado en la elaboración de su informe final de tesis, al estudiante: Byron Norberto Moya Mejía; carné: 2240506, titulada: **“Determinación del daño mecánico y del deterioro fisiológico en la semilla de frijol, por diferentes procedimientos de desgranado”**.

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

Sin otro particular.

Atentamente:



Ing. Agr. Domingo Filiberto Castillo Monterroso
Asesor. Colegiado 1577



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante BYRON NORBERTO MOYA MEJÍA, Carnet 22405-06 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06123-2014 de fecha 17 de octubre de 2014, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

DETERMINACIÓN DEL DAÑO MECÁNICO Y DEL DETERIORO FISIOLÓGICO EN LA SEMILLA DE FRIJOL, POR DIFERENTES PROCEDIMIENTOS DE DESGRANADO

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

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 7 días del mes de noviembre del año 2014.



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



AGRADECIMIENTOS

A:

Mis padres, Miguel Angel Moya Cabnal y Luz del Carmen Mejía de Moya, por ser el pilar fundamental en la formación de mi vida, por su trabajo y sacrificio durante todos estos años, por darme amor, apoyo incondicional, valores y principios que son mi mejor educación.

Dios, por estar a mi lado siempre, por darme la oportunidad de darles esta satisfacción a mis padres, por los amigos que conocí en estos años de estudio, por la inteligencia, sabiduría, fortaleza espiritual y permitirme formar parte de tan selecto grupo de profesionales, cuya labor tan noble es alimentar al mundo.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Sede de Escuintla, el alma máter que me formo para ser un profesional de éxito.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), por el apoyo y permitirme ejecutar mi tesis de grado en sus instalaciones.

Ing. Agr. Domingo Filiberto Castillo Monterroso, por su amistad, asesoría, revisión, corrección y apoyo incondicional para la ejecución de la presente investigación.

MGTR. Adán Obispo Rodas Cifuentes, por su asesoría y apoyo incondicional durante los años de estudio y elaboración de esta tesis de grado.

DEDICATORIA

A:

Dios: ...que nos da talentos según nuestra capacidad, el ilumina nuestro sendero, para ser siervos buenos, sobre poco ser fieles y podamos multiplicar esos talentos, esto es una humilde y pequeña muestra de la multiplicación de los talentos que ha depositado en mi persona, ruego que me permita cosechar, multiplicar y compartir el fruto de sus bendiciones.

Mi Padre: Miguel Angel Moya Cabnal, mi guía, mi consejo, mi amigo, mi fortaleza, mi disciplina y apoyo, su legado corre por mis venas, una vida de esfuerzo, trabajo y dedicación que no se perderá, y estará presente en cada meta alcanzada, durante toda mi vida profesional.

Mi Madre: Luz del Carmen Mejía de Moya, porque es el amor de mi vida, a través de ella siempre he visto la luz, en sus brazos siempre encontrare el amor, en sus palabras la ternura y el mejor consejo, en sus acciones una muestra de perseverancia y determinación, para soñar y vivir esos sueños.

Mis Hermanos: David, Andrea, Miguel y Herberth, por su cariño y apoyo en cada etapa de nuestras vidas, y que de una u otra forma han contribuido con mi formación.

Mis Abuelas: Amelia y Concepción, que en sus brazos siempre habrá una muestra de amor y cariño, y en sus labios un dulce beso y un buen consejo.

ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL FRIJOL	3
2.3 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y MORFOLÓGICAS DE LA PLANTA DE FRIJOL	3
2.3.1 Raíz	3
2.3.2 Tallo	4
2.3.3 Hojas	4
2.3.4 Flores	5
2.3.5 Inflorescencia	5
2.3.6 Fruto	5
2.3.7 Semilla	5
2.3.8 Fecundación	6
2.3.9 Naturaleza biológica de la semilla de frijol	7
2.4 ARRANQUE O CORTE	8
2.5 TRILLA	9
2.6 DETERMINACIÓN DEL DAÑO MECÁNICO A LA SEMILLA DE FRIJOL	10
2.7 INVESTIGACIONES SOBRE DAÑO MECÁNICO PROVOCADO A LAS SEMILLAS	11
2.8 LIMPIEZA	12
2.9 SECAMIENTO DE LA SEMILLA DE FRIJOL	12
2.9.1 Métodos de secamiento de la semilla de frijol	14
2.9.2 Determinación de la humedad de la semilla de frijol	16
2.10 SELECCIÓN DE LA SEMILLA DE FRIJOL	17
2.10.1 Métodos de selección de semilla de frijol	18
2.10.2 Determinación de la capacidad de germinar	19
2.11 ALMACENAMIENTO	21
2.11.1 Fase de secamiento	22
2.11.2 Fase de acondicionamiento	22
2.11.3 Fase de Bodega	22
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	24
3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	24
IV. OBJETIVOS	26

	PÁGINA	
4.1	OBJETIVO GENERAL	26
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
V.	HIPÓTESIS	27
VI.	METODOLOGÍA	28
6.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL TRABAJO	28
6.1.1	Localización	28
6.1.2	Vías de acceso	28
6.1.3	Relieve	29
6.1.4	Condiciones climáticas	29
6.1.5	Zona de vida	29
6.1.6	Geología y suelos	29
6.2	MATERIAL EXPERIMENTAL	30
6.3	FACTORES ESTUDIADOS	30
6.3.1	Humedad en el desgrane:	30
6.3.2	Método de desgrane.	30
6.4	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	32
6.5	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	33
6.6	MODELO ESTADÍSTICO	33
6.7	UNIDAD EXPERIMENTAL	33
6.8	MANEJO DEL EXPERIMENTO	33
6.9	VARIABLES DE RESPUESTA	35
6.9.1	Porcentaje de germinación	35
6.9.2	Daño mecánico	36
6.10	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	36
6.10.1	Análisis estadístico	36
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
7.1	DAÑO MECÁNICO	37
7.2	GERMINACIÓN	40
7.3	VIGOR	43
7.4	DIAS A GERMINACIÓN	46
VIII.	CONCLUSIONES	51
IX.	RECOMENDACIONES	52
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	TITULO DE FIGURA	PÁGINA
Figura 1.	Composición de la semilla de frijol	6
Figura 2.	Ubicación geográfica del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.	28
Figura 3.	Análisis de correspondencia del análisis multivariado entre las variables daño físico, germinación y vigor.	51

ÍNDICE DE CUADROS

	TITULO DEL CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1.	Contenido de humedad de semilla de frijol en equilibrio con el aire de diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.	13
Cuadro 2.	Descripción de los tratamientos de la interacción de método de desgrane y humedad del grano de frijol, a evaluar.	33
Cuadro 3.	Daño mecánico provocado a la semilla de frijol debido al método de aporreo o desgrane utilizado, a diferentes porcentajes de humedad.	38
Cuadro 4.	Análisis de varianza para la variable daño mecánico.	39
Cuadro 5.	Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane, y su influencia en el daño mecánico en la semilla de frijol.	40
Cuadro 6.	Análisis de varianza para la variable germinación.	41
Cuadro 7.	Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura del porcentaje de la germinación.	42
Cuadro 8.	Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad, al momento del desgrane, para determinar la influencia de estos factores en el porcentaje de germinación en la semilla de frijol.	43
Cuadro 9.	Análisis de varianza, para la variable vigor.	44
Cuadro 10.	Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura del porcentaje de vigor.	45
Cuadro 11.	Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad, al momento del desgrane, para determinar la influencia en el vigor de la semilla de frijol.	46
Cuadro 12.	Análisis de varianza, para la variable días a germinación.	47
Cuadro 13.	Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura en los días a germinación.	48
Cuadro 14.	Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para analizar la influencia del factor método de aporreo en el tiempo de germinación.	49

TITULO DEL CUADRO

PÁGINA

Cuadro 15. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para analizar la influencia del factor humedad al momento de aporreo en el tiempo en días que se lleva para germinar la semilla de frijol.

50

Determinación del daño mecánico y del deterioro fisiológico en la semilla de frijol, por diferentes procedimientos de desgranado.

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el centro de investigación del ICTA, La Alameda, Chimaltenango. Tuvo como objetivo determinar el daño mecánico y fisiológico causado a la semilla de frijol de la variedad ICTA Hunapú, por efecto del porcentaje de humedad y método de desgrane utilizado. Los tratamientos utilizados fueron: 6 métodos de desgrane y 5 porcentajes de humedad de la semilla al momento del desgrane; se adicionó un testigo, éste consistió en un desgrane manual. Se evaluó el porcentaje de germinación, tiempo de germinación, período de almacenaje, vigor y daño mecánico para cada tratamiento. El análisis entre las variables porcentaje de daño mecánico, porcentaje de germinación y porcentaje de vigor, presenta la interrelación que existe entre los factores involucrados en este análisis, y se observó que al desgranar la semilla de frijol y provocarle mayor daño mecánico, reduce el porcentaje de germinación y porcentaje de vigor en la semilla de frijol. El mejor tratamiento fue el aporreo en tapesco a un 15% de humedad, con un 2% de daño mecánico, una media de germinación del 96.44%, un 94.03% de vigor y un período de germinación de 2.42 días después de la siembra. Se recomienda utilizar esta información para establecer un método adecuado y porcentaje de humedad al momento del aporreo de la semilla de frijol.

Determination of the mechanical damage and physiological damage in beans used as seeds, derived from different bean removal methods.

SUMMARY

The research was carried out in ICTA's research center in La Alameda, Chimaltenango. The objective of the same was to determine the mechanical and physiological damage caused to the ICTA Hunapú variety of beans for seed, due to the humidity percentage and grain removal method used. The treatments used were: 6 bean removal methods and 5 seed humidity percentages during the bean removal. A check was added, which consisted of manual bean removal. The germination percentage, germination period, storage period, vigor, and mechanical damage for each treatment were evaluated. The analysis carried out of the percentage of mechanical damage, germination percentage and vigor percentage demonstrates the interrelation that exists among the factors involved in this analysis: it was observed that when the beans are removed and higher mechanical damage is caused, the germination and vigor percentage in bean seed is reduced. The best treatment was the threshing during harvest with a humidity of 15%, with 2% mechanical damage, a germination average of 96.44%, 94.03% vigor and a germination period of 2.42 days after planting. It is recommended to use this information to establish a proper method and humidity percentage when pounding the bean seeds.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de frijol (*Phaseolus vulgaris*; Leguminosae) en Guatemala de 1990 a 2013 ha crecido en un 50%. A nivel nacional se producen cada año alrededor de 104,326.24 toneladas métricas de frijol en una superficie de aproximadamente 210,000 hectáreas. Se estima que cada familia en el área rural de Guatemala consume un promedio de 226.8 kilogramos de frijol cada año, constituyendo una base en la alimentación de la población guatemalteca, el consumo per cápita de frijol equivale a 30 libras al año (MAGA, 2013)

La trilla del frijol, es el proceso de post-cosecha, por medio del cual se obtiene el grano libre de la vaina de la cosecha en campo y se puede hacer de varias maneras. El método tradicional consiste en colocar las plantas sobre el piso (algunas veces sobre una lona) y golpearlas con bastones de madera. Se ha evaluado que la trilla con este método requiere de unas 45 horas-hombre/hectárea. Un sistema utilizado en Centro América es la trilla sobre una tarima llamada tapesco o garita, la cual se construye en un lugar adecuado en el campo, utilizando ramas de árboles y tallos de maíz o sorgo. Aprovechando esta idea, el CIAT ha desarrollado una mesa portátil para trillar y desbrozar en una sola operación. Consta de una plataforma rejilla da con malla metálica que permite que todo grano desprendido de la vaina por el impacto del bastón de madera (garrote), caiga por los orificios de la rejilla a una bandeja con malla de alambre. De este modo se disminuyen los daños a la semilla por los impactos repetidos y se remueve gran cantidad de basura. La malla de alambre inferior permite recoger la semilla una vez ha sido trillada; de esta forma se facilita la prelimpieza de la semilla y su recolección. Se ha evaluado que este método de trilla-prelimpieza requiere de unas 50 horas-hombre/hectárea (Garay, Aguirre, Guillermo y Burbano 1992).

Por su forma, tamaño, anatomía y estructura, la semilla de frijol es sensible a los impactos o golpes. Cuando el contenido de humedad de la semilla es alto (mayor a 15%), su tejido es elástico y se aplasta o lesiona con facilidad al recibir un impacto; estos daños pueden no ser notorios a simple vista, pero los tejidos golpeados sufren

lesiones internas. Por otro lado, las semillas muy secas (humedad menor a 15%) son frágiles y, al ser golpeadas, sufren fisuras en la testa y fracturas en los cotiledones o en el eje embrionario. Dependiendo de la severidad y de las partes afectadas, estos daños causan debilitamiento, anormalidades, o muerte de la semilla. Las lesiones y fracturas de la testa constituyen puertas de entrada para la humedad y los microorganismos comunes. Por consiguiente, la selección del método de trilla debe considerar no sólo la rapidez del proceso, sino también la prevención de daños físicos (Garay *et al.*, 1992).

Por esta razón, se evaluaron seis métodos de trilla a cinco diferentes porcentajes de humedad, para generar información sobre el daño mecánico y fisiológico causado a la semilla de frijol, por efecto del porcentaje de humedad y método de desgrane utilizado.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ORIGEN DEL CULTIVO DE FRIJOL

El frijol es una planta originaria de Mesoamérica, que incluye México, la cual se viene cultivando desde hace alrededor de 7 mil años, en que están las primeras especies domesticadas por el hombre americano, desarrollándose durante ese tiempo una diversidad de tipos y calidades de frijoles (Morán, 1969).

2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL FRIJOL (Fernández, Gepts y López, 1995)

La clasificación taxonómica del frijol es la siguiente:

Reino.....Vegetal
Subreino.....Embryobionta
División.....Magnoliophyta
Clase.....Magnoliopsidae
Subclase.....Rosidae
Orden.....Fabales
Familia.....Fabaceae
Género.....*Phaseolus*
Especie.....*P. vulgaris*.

2.3 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y MORFOLÓGICAS DE LA PLANTA DE FRIJOL

2.3.1 Raíz

Se inicia con la raíz cónica o raíz principal, de la que emergen numerosas raíces laterales secundarias y ramificadas; la raíz principal puede alcanzar una profundidad de 1 a 2 m; las raíces laterales desarrollan una radícula cónica; cerca de la superficie del suelo se observan raíces adventicias que salen de la parte inferior del hipocótilo, que en otras leguminosas en la raíz presenta nódulos esféricos de tamaño variable producido por bacterias (Morán, 1969).

2.3.2 Tallo

Morán (1969), menciona que la planta de frijol se caracteriza por tener tallos delgados y débiles, angulosos, de sección cuadrangular, a veces con rayas púrpuras y de altura muy variable, el porte de las plantas está determinado por la forma y posición de los tallos; si el principal tiene una inflorescencia terminal el desarrollo se detiene pronto y la planta será “enana”, si el tallo no produce esta inflorescencia terminal aparecen otras axilas y la planta será de “enrame” (porte trepador o voluble). El tallo de una planta madura es aristado, cilíndrico, delgado y flexible o algo rígido, dependiendo del porte de la planta.

En el documento Tecnologías poscosecha para pequeñas empresas de semillas, elaborado por Garay *et al.* (1992), describen que la planta de frijol consta de un eje central, en el cual están insertos las hojas principales y los diversos complejos axilares. Puede ser erecto, semi-postrado o postrado, dependiendo del hábito de crecimiento de la variedad, el cual pueden ser:

Tipo I: Arbustivo determinado

Tipo II: Arbustivo indeterminado

Tipo III: Postrado indeterminado

Tipo IV: Indeterminado trepador

2.3.3 Hojas

Morán (1969), indica que las hojas de frijol son de dos tipos: simples y compuestas. Están insertadas en los nudos de los tallos y ramas laterales mediante sus peciolos. Las hojas primarias son simples, aparecen en el segundo nudo del tallo principal. Estas hojas son opuestas o cordiformes, unifoliadas, con aurículas, simples. Las hojas verdaderas compuestas, se encuentran trifoliadas, a partir del tercer nudo del tallo principal y en las ramas laterales y son las típicas del frijol.

2.3.4 Flores

Morán (1969), menciona que cada flor presenta una bráctea basal y al final del pedúnculo un par de bractéolas. Las flores son papilionadas, con cáliz tubular en la base y con tres a cinco dientes, la corola formada por cinco partes; la quilla que encierra los órganos reproductores y está formada por dos pétalos inferiores fusionados, posee el ápice enrollado en espiral, hay dos pétalos laterales o alas y un pétalo superior de mayor dimensión, que es el estandarte. El color de la flor varía de blanco a morado y cambia con la edad de la flor y el medio ambiente. Los estambres se presentan en número de diez, de los cuales nueve están unidos por la base formando un tubo estaminal y uno libre en posición posterior opuesta al estandarte.

2.3.5 Inflorescencia

Son racimos en posición lateral o determinada, en cada inflorescencia se pueden distinguir tres componentes principales, el eje de las inflorescencias que se compone del pedúnculo y del raquis, las brácteas y los botones florales (Garay *et al.*, 1992)

2.3.6 Fruto

Morán (1969), describe que el fruto es una legumbre de 6 a 22 cm de largo (fruto de un solo carpelo), cuya sutura ventral (placenta) se abre en la madurez para dejar salir a la semilla, posteriormente se rompe la sutura dorsal que consta de un cordón de fibras fuertes, el color varía según el cultivar, desde verde uniforme a morado casi negro. La estructura del fruto es simple, exocarpio, mesocarpio y endocarpio, existen variedades que pueden considerarse indehiscentes debido a la desaparición del pergamino que recubre el interior de la vaina.

2.3.7 Semilla

Morán (1969), indica que la semilla de frijol presenta formas muy variables, desde esféricas a cilíndricas. En cultivares más comunes la semilla presenta forma arriñonada,

correspondiendo la depresión al hilo elíptico, en cuyo fondo hay un disco blanco rodeado de una prominencia uniforme o carúncula. La semilla está constituida por dos cotiledones compuestos que contienen carbohidratos (60%), proteínas (22%), contiene además grasa y minerales. Su contenido de agua es muy bajo (10 a 15%) (Figura 1).

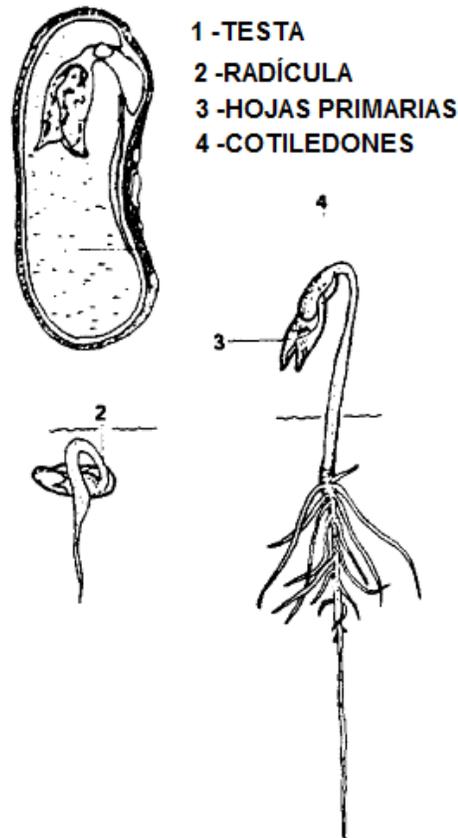


Figura 1. Composición de la semilla de frijol

2.3.8 Fecundación

En el documento Tecnologías poscosecha para pequeñas empresas de semillas, elaborado por Garay *et al.* (1992), describen que el frijol se poliniza por cleistogamia, que significa que cuando la flor todavía no se abre la quilla impide una polinización cruzada. A pesar de ello algunas veces ocurre polinización cruzada pero en un bajo porcentaje.

2.3.9 Naturaleza biológica de la semilla de frijol

Es necesario entender la naturaleza biológica de la semilla. Aunque estructuralmente la semilla sexual es el mismo grano, funcionalmente aparecen diferencias importantes entre un grano común y una semilla (Garay *et al.*, 1992).

Los granos se usan en la alimentación o en la industria; la semilla en cambio debe mantener su pureza varietal y debe dar origen a plantas sanas, vigorosas y productivas. Para cumplir con esta función, la semilla debe contener atributos claves, los cuales se pueden clasificar en cuatro grupos generales: genéticos, fisiológicos, fitosanitarios y físicos (Garay *et al.*, 1992).

En consecuencia, no todo grano es apto para ser semilla. El componente genético confiere a la semilla las características de la variedad a la que pertenece. Existen métodos adecuados para mantener la pureza varietal a través de los ciclos de producción. El componente fisiológico se ve afectado por el clima y las condiciones de manejo de la semilla durante la producción. Este componente es el principal responsable de la vida de las semillas y del vigor de las plántulas. El componente fitosanitario, en parte depende de la variedad, pero también depende del clima y del manejo que recibe el cultivo. El componente físico se relaciona con la presencia o ausencia de materiales extraños indeseables, tales como las semillas de malezas o el exceso de humedad. Estos cuatro componentes en conjunto definen la calidad de la semilla (Garay *et al.*, 1992).

La anatomía de la semilla también merece un examen. En las especies leguminosas como el frijol, la semilla en su totalidad es un embrión. Su única protección es la cubierta testal, por tanto, cualquier daño causado por el ambiente, los patógenos, los golpes, etc., afectará directamente a la futura planta (Garay *et al.*, 1992).

2.4 ARRANQUE O CORTE

En la producción de semillas en pequeña escala, la cosecha se hace en dos fases: a) arranque (o corte) y b) trilla. El arranque es una práctica útil pues acelera la deshidratación de las plantas y semillas. En ambientes secos, es más práctico y económico dejar secar la semilla en pie tanto como sea posible. En algunos casos, se arranca las plantas tardíamente y se acumulan sobre el suelo; en estas condiciones las vainas permanecen en contacto con la humedad del suelo, de las malezas, y del mismo follaje de la planta durante un tiempo excesivo, con lo cual se dificulta la deshidratación de la vaina y de la semilla. Existen evidencias prácticas que demuestran que las semillas de plantas arrancadas y manejadas en estas circunstancias pierden calidad con mayor facilidad que las de plantas en pie (Garay *et al.*, 1992).

Un esquema para prevenir el daño a la semilla por el exceso de humedad puede consistir en arrancar las plantas cuando la mayoría de las vainas (más del 85%) haya llegado a la madurez de cosecha, y dejarlas expuestas al sol para acelerar la deshidratación de vainas, hojas, y tallos. Cuando el clima es variable y se anticipan lluvias repentinas, es preferible arrancar sólo la cantidad de plantas que es factible trillar ese mismo día. En días soleados una planta en madurez de cosecha que haya sido arrancada por la mañana está en el punto de trilla por la tarde. En casos excepcionales la trilla puede retrasarse uno o dos días (Garay *et al.*, 1992).

Cuando la planta ha sido arrancada, las raíces pueden contaminar la semilla con tierra, piedras, etc. durante el proceso de la trilla, lo cual dificulta las operaciones siguientes. En algunas regiones los agricultores acostumbran cortar la planta a la altura del cuello; de esta forma se evita la contaminación con tierra y terrones, lo que además permite obtener semillas brillantes y de buena apariencia. Según datos de algunas investigaciones, para el arranque se necesitan aproximadamente 30 horas-hombre/hectárea y para el corte 50 horas-hombre/hectárea (Garay *et al.*, 1992).

Si las condiciones ambientales son lluviosas y es poca la cantidad de semilla cosechada, es posible secar colgando bajo techo los manojos de las plantas arrancadas. Debe recordarse que el secamiento antes de la trilla no tiene por objeto bajar hasta la humedad de almacenamiento (13%), sino simplemente deshidratar las vainas y semillas hasta la humedad de trilla (22%). Como regla general, en condiciones agroclimáticas adversas, cuanto más rápido se saque la semilla del campo, tanto mejor será su calidad. Por consiguiente, el uso de zonas y/o épocas apropiadas y el arranque oportuno de las plantas son prácticas útiles para obtener semillas en su nivel más alto de calidad fisiológica y sanitaria (Garay *et al.*, 1992).

2.5 TRILLA

Por su forma, tamaño, anatomía y estructura, la semilla de frijol es sensible a los impactos o golpes. Cuando el contenido de humedad de la semilla es alto (humedad mayor a 15%), su tejido es elástico y se aplasta o lesiona con facilidad al recibir un impacto; estos daños pueden no ser notorios a simple vista, pero los tejidos golpeados sufren lesiones internas. Por otro lado, las semillas muy secas (humedad menor a 15%) son frágiles y, al ser golpeadas, sufren fisuramiento de la testa y fracturas en los cotiledones o en el eje embrionario. Dependiendo de su severidad y de las partes afectadas, estos daños causan debilitamiento, anormalidades, o muerte de la semilla. Las lesiones y fracturas de la testa constituyen puertas de entrada para la humedad y los microorganismos comunes. Por consiguiente, la selección del método de trilla debe considerar no sólo la rapidez del proceso, sino también la prevención de daños físicos (Garay *et al.*, 1992)

Entre los métodos de trilla mecanizados para uso en pequeña escala, existen trilladoras estacionarias de martillos o dedos a motor. Estos equipos pueden ser apropiados o no, según el tamaño de la operación, el acceso al terreno, el daño mecánico causado a la semilla, la capacidad económica del productor, etc. Las trilladoras de martillos tienen mayor capacidad y requieren menos mano de obra (30 horas-hombre/hectárea), pero exigen un mayor entendimiento de la interacción entre la humedad de la semilla y las

revoluciones del cilindro para evitar daños físicos; es decir, requiere una mayor especialización para darle un buen uso. En la práctica, las trilladoras de martillo a motor se fabrican para trillar grano para consumo y no necesariamente para trillar grano para semilla. Por tanto, se requieren cuidados especiales para evitar daños que resulten en pérdida de la calidad de las semillas (Garay *et al.*, 1992)

2.6 DETERMINACIÓN DEL DAÑO MECÁNICO A LA SEMILLA DE FRIJOL

Normalmente sólo se tiene conciencia del daño mecánico cuando se ven granos totalmente partidos. En realidad, antes de llegar a ese nivel de severidad han ocurrido daños que pasan desapercibidos porque no saltan a la vista (Garay *et al.*, 1992).

La magnitud de los daños físicos depende del método de trilla y del contenido de humedad de la semilla; la determinación de estos daños físicos es muy importante para poder evaluar y modificar los métodos de trilla. Un modo sencillo para detectar fisuras y daños en la testa de la semilla de frijol consiste en colocar 100 semillas en un vaso con agua; pasados 15 minutos, la testa de las semillas que no han sufrido daño, estará arrugada pero entera. La testa de las semillas con daño se habrá separado de los cotiledones, indicando que la testa estaba fisurada (Garay *et al.*, 1992).

Después de la imbibición también será fácil observar las testas con fisuras. En términos prácticos, cuando hay menos del 5% de granos con cáscara fracturada, el método de trilla es adecuado. Si se encuentran entre 5% y 15% de granos dañados, se debe corregir inmediatamente el método. Los lotes con daños del 15% o más no son apropiados para ser utilizados como semilla. Las semillas que han sufrido fracturas presentan anormalidades típicas en su fase de germinación, tales como ausencia de la raíz principal, ausencia de uno o ambos cotiledones, cotiledones fracturados, ausencia de la yema apical, ausencia de una o ambas hojas primarias, etc. (Garay *et al.*, 1992).

La experiencia obtenida en el CIAT, en la Unidad de Semillas, indica que la trilla sobre el piso, sobre una mesa de trilla, o con la trilladora de fricción causa poco daño

mecánico a las semillas (menor 5%), mientras que las trilladoras de martillos a motor pueden causar mayor daño. Cuando su uso no es adecuado el daño puede alcanzar niveles superiores al 30% (Garay *et al.*, 1992).

La cosecha de las semillas debe hacerse durante la madurez de cosecha y tan pronto como sea posible. En la trilla se debe evitar causar daños físicos a las semillas, pues estos son irreversibles y disminuyen la calidad de la semilla. Para la trilla de pequeñas cantidades de semilla los métodos de trilla en piso o sobre la mesa de trilla son apropiados. Si se utiliza trilladoras a motor se debe evaluar cuidadosamente la máquina y operar evitando los daños físicos (Garay *et al.*, 1992).

2.7 INVESTIGACIONES SOBRE DAÑO MECÁNICO PROVOCADO A LAS SEMILLAS

La resistencia al daño mecánico es una característica de la semilla que debe tomarse en cuenta en el proceso de producción, siembra en campo, beneficio y almacenaje. Usualmente la metodología utilizada para el desgrane manual y la maquinaria utilizada se debe de ajustar a un régimen de operación para que la semilla sufra el menor daño posible (Basu, 1994).

El daño por impacto causa bajo vigor, disminuye la calidad física y sanitaria y reduce la vida de almacén de la semilla (Basu, 1994). Se ha reportado que el daño causado por el impacto, depende de varios factores: contenido de humedad, grado de madurez y tamaño y forma de la semilla; sin embargo, la influencia de dichos factores sobre la magnitud del daño ha sido parcialmente estudiada. El daño mecánico se incrementó al disminuir el contenido de humedad en semilla de soya. La energía necesaria para fracturar semillas de maíz, trigo y soya se incrementó proporcionalmente al contenido de humedad, en correlación lineal en ciertos casos y no lineal en otros (Garay *et al.*, 1992).

Un incremento en el contenido de agua ligada a la matriz de proteína, almidón y pentosas, ocasiona que las semillas sean menos resistentes a la deformación y más resistentes al quebrado. Sin embargo, conforme se incrementó el contenido de humedad durante la cosecha de trigo, se redujo el daño mecánico visible pero también el porcentaje de germinación, lo cual podría indicar que el daño fisiológico fue superior al daño mecánico observado (Bilanski y Lal, 1965). En el documento Tecnologías poscosecha para pequeñas empresas de semillas, elaborado Garay *et al.* (1992), describen que aunque el daño mecánico fue más intenso en las semillas de frijol de mayor tamaño, el porcentaje de germinación de éstas fue mayor.

2.8 LIMPIEZA

Los restos de cosecha tales como raíces, hojas, vainas tallos, polvo, tierra, etc., es necesario removerlos mediante la limpieza, con el fin de facilitar el secamiento y las operaciones posteriores. La limpieza facilita el secamiento de las semillas, debe hacerse rápidamente con el fin de empezar a secar las semillas lo más pronto posible. El sistema tradicional de limpieza es el venteo, el cual utiliza el viento natural para remover los materiales más livianos. Este método tiene algunas desventajas: a) sólo opera cuando hay viento; b) no es posible regular la velocidad del viento; c) su eficacia y capacidad (aproximadamente 100 kg/hr) son bajas; d) es incómodo para el trabajador. Las piedras y terrones se remueven posteriormente durante el proceso de selección (Garay *et al.*, 1992).

2.9 SECAMIENTO DE LA SEMILLA DE FRIJOL

La semilla húmeda respira activamente. Este proceso de respiración consume las reservas nutritivas de la semilla y genera calor, agua y anhídrido carbónico. En una masa de semillas húmedas, el agua liberada en el proceso de respiración incrementa la humedad relativa del aire en los espacios entre granos, creando un ambiente propicio para la proliferación de microorganismos. La misma masa de semillas impide la migración del calor al ambiente exterior, ocasionando el calentamiento de las semillas y

acelerando el proceso de respiración, con lo cual se incrementa el proceso de deterioro de las semillas (Garay *et al.*, 1992).

El método más práctico para prevenir todos estos riesgos es el secamiento. Si la semilla tiene un contenido de humedad mayor del 13% es necesario secarla. El secamiento se basa en la propiedad higroscópica de la semilla y del aire que la rodea. El contenido de humedad de las semillas depende en gran medida de la humedad relativa del aire. En el cuadro siguiente se presenta el contenido de humedad al cual se equilibran las semillas de frijol con el aire que las rodea, en función de la temperatura y de la humedad relativa (Garay *et al.*, 1992).

Cuadro 1. Contenido de humedad de semilla de frijol en equilibrio con el aire de diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.

Humedad relativa (%)	temperatura (°C)		
	15	25	35
30	8.8	8.5	8.2
35	9.4	9	8.7
40	10	9.6	9.2
45	10.6	10.2	9.8
50	11.3	10.8	10.4
55	12	11.5	11.1
60	12.8	12.3	11.9
65	13.7	13.2	12.8
70	14.8	14.3	13.8
75	16.1	15.6	15.1
80	17.6	17.1	16.7
85	19.5	19.1	18.6
90	21.8	21.4	21.1

En el cuadro anterior se observa que entre menor sea la humedad relativa del aire, menor será la humedad de la semilla. Para que las semillas de frijol bajen a humedades inferiores al 13% deben estar en ambientes con humedades relativas inferiores al 60%. En regiones secas la humedad relativa del aire es baja y el aire en estas condiciones secará las semillas. Por el contrario, cuando la humedad relativa del aire es alta (humedad mayor a 60%), la humedad de la semilla tendrá a alcanzar niveles superiores al 13%. En estas situaciones para poder secar las semillas es necesario calentar el aire

utilizando fuentes artificiales de calor. Otro factor importante es el movimiento del aire. Si la capa de semillas es delgada (menor de 5 centímetros), el aire puede pasar naturalmente a través de ella; pero si es muy gruesa, es necesario forzarlo a pasar utilizando ventiladores (Garay *et al.*, 1992).

2.9.1 Métodos de secamiento de la semilla de frijol

Un método tradicional de secamiento consiste en exponer la semilla al sol sobre una superficie. Este sistema es de fácil implementación. Normalmente se coloca la semilla sobre un piso de cemento o una lona. En suelos húmedos es necesario colocar la semilla sobre un material impermeable al vapor de agua, como por ejemplo plástico u otro material similar. Un método de secamiento natural exitoso muy utilizado con el café en Colombia son las plataformas con techo movable sobre rieles. Las semillas se exponen al sol sobre la plataforma y se remueven periódicamente. De noche y en casos de lluvia, se corre el techo para cubrir la semilla (Garay *et al.*, 1992).

Un método similar es el secamiento en bandejas con fondo de malla. Las bandejas deben quedar suspendidas a una altura cómoda para el trabajador (0.7 metros del suelo), para aislar la semilla de la humedad del suelo, y facilitar el movimiento de aire por debajo de la bandeja. Este método expone la capa de semillas al aire tanto por la parte superior como por la inferior, permitiendo que este fluya a través de la masa de semillas, lo cual aumenta la extracción de humedad. En pruebas comerciales, en un día soleado éste método permite bajar de 18% a 13% de humedad en un día. En un ambiente soleado, con una temperatura ambiental de 30 °C, la semilla expuesta al sol puede alcanzar temperaturas superiores a los 40 °C, para evitar este sobrecalentamiento es necesario revolver las semillas periódicamente (Garay *et al.*, 1992).

Para que seque, la semilla no tiene necesariamente que estar expuesta al sol; lo importante es que el aire seco pase a través de la capa de semillas. Por lo tanto, una capa delgada de semillas se puede secar incluso en la sombra, durante la noche, o en

un fin de semana, aún sin la atención del operario. Se recomienda que el espesor de la capa sea menor o igual a 5 centímetros lo cual dará una capacidad de 35 kg/m². Cuando se manejan mayores cantidades de semilla y/o cuando se necesita un método de secamiento independiente del ambiente natural, el secamiento con aire forzado es una alternativa. Este método es utilizado en empresas grandes y puede ser adaptado con facilidad para la producción en pequeña escala. El secador consta de tres partes esenciales: un ventilador, para mover el aire; una fuente de calor, cuando se necesita calentar el aire; y un depósito para la semilla (Garay *et al.*, 1992).

Si la humedad relativa del aire es baja (humedad menor o igual a 60%), lo cual ocurre en regiones secas, en épocas secas del año, o durante ciertas horas del día, puede no ser necesario calentar el aire. Independientemente del tamaño del secador, el espesor o altura de la capa de semillas no debe ser superior a 1 metro, lo cual da una capacidad de secamiento de 700 kg/m² de secado. En el CIAT se han adaptado varios de estos secadores. Uno de ellos utiliza el aire caliente atrapado en la cámara formada por el techo y el cielo raso. El aire caliente atrapado en la cámara es llevado por un ducto al ventilador del secador. En días soleados se logra utilizar este aire calentado naturalmente para el secamiento de la semilla. Durante la noche, cuando aumenta la humedad relativa, se requieren otras fuentes de calor tales como resistencias eléctricas o quemadores de carbón, gas, madera, cáscara de arroz, etc. Los recipientes para las semillas pueden ser contruidos en madera, ladrillo, cemento, metal, etc. El piso debe ser una superficie de malla metálica o plancha metálica perforada que permita el paso del aire pero no de la semilla (Garay *et al.*, 1992).

El piso puede ser horizontal o inclinado para facilitar el vaciado de las semillas. Se recomienda que la temperatura del aire no exceda los 40 °C. Para asegurar que la velocidad de secamiento sea adecuada, se debe utilizar un caudal de aire del orden de los 10m³ de aire/minuto/tonelada de semillas. El secamiento de la semilla es una actividad obligatoria. Toda semilla cosechada que tenga más del 13% de humedad se debe secar inmediatamente. En regiones con baja humedad relativa (humedad menor a 60%), la semilla se puede secar naturalmente en el campo aun antes de la trilla; en

regiones con alta humedad relativa (humedad mayor a 60%), es necesario contar con otras alternativas para poder secar oportunamente hasta niveles de bajo riesgo (humedad menor o igual al 13%) (Garay *et al.*, 1992).

2.9.2 Determinación de la humedad de la semilla de frijol

La humedad de la semilla es un factor de preocupación constante a partir de la fase de maduración. Por consiguiente, es necesario contar con métodos prácticos para estimar el contenido de humedad en campo. Los métodos más utilizados para medir el contenido de humedad de las semillas son el horno y los probadores electrónicos. El horno es un método estandarizado y confiable. Los probadores electrónicos son prácticos y algunos son portátiles y permiten estimar la humedad de la semilla en el campo. Sin embargo, si no se dispone de estos equipos, el contenido de humedad de las semillas se puede estimar con otros métodos. El método del aceite caliente permite obtener resultados confiables y no es costoso (Garay *et al.*, 1992).

La práctica consiste en colocar una muestra de 100 gramos de semilla durante 5 minutos en aceite caliente (a una temperatura de 180 °C, hasta que el aceite comience a humear). A esta temperatura, el agua contenida en la semilla sumergida se evapora; el peso perdido (en gramos) indica directamente el porcentaje de humedad de la semilla. La Unidad de semillas ha venido estudiando las características higroscópicas de la sal común y de las semillas para desarrollar un método sencillo que pueda ser utilizado por el agricultor para determinar contenidos de humedad. Básicamente el método consiste en lo siguiente: se lava y seca bien un recipiente mediano (250cc) de vidrio, que tenga tapa. Utilizando la tapa para medir, se colocan en el frasco 7 porciones de semilla por 1 porción de sal común de mesa (NaCl), la cual ha sido previamente secada al solo en estufa durante 10-15 minutos. Se tapa el recipiente, se mezclan la sal y la semilla durante 15 segundos y se espera 20 minutos, al cabo de este tiempo, se observa la reacción: si la sal no se encuentra adherida a las paredes del frasco, la semilla tiene un contenido de humedad por debajo del 13% (Garay *et al.*, 1992).

Otra opción práctica es usar el método tradicional del agricultor. Cuando se habla de humedad del grano, no existe agricultor que resista la tentación de hundir la uña o poner el grano entre sus dientes para probar la dureza (resistencia a la presión). Si la semilla está húmeda (humedad mayor a 13%), la uña o el diente dejan marcas visibles en la testa de la semilla; por el contrario si la semilla está seca (humedad menor a 13%), la uña o el diente no dejarán marca visible de la presión ejercida. Estas reacciones son consistentes con las variaciones de resistencia de los tejidos de la semilla según los cambios en su contenido de humedad (Garay *et al.*, 1992).

En casos donde no hay probadores de humedad, estos indicadores prácticos, aun cuando no fueren precisos, son de gran utilidad. Como regla práctica, cuando la semilla se ha secado hasta llegar a una consistencia dura que no permite dejar marca con la uña, su humedad está en un nivel que implica bajo riesgo de deterioro. Las semillas provenientes de campos bien manejados, cosechadas oportunamente, trilladas sin fracturar, y secadas hasta el 13% de humedad, prácticamente han superado las etapas más peligrosas. La cosecha y el secamiento son operaciones que no pueden postergarse, pero la semilla seca, si puede guardarse por tiempos más prolongados sin mayores riesgos, en espera de las operaciones posteriores (Garay *et al.*, 1992).

2.10 SELECCIÓN DE LA SEMILLA DE FRIJOL

La limpieza realizada al lote de semillas utilizando aire y/o zarandas, debió remover la mayoría de los materiales inertes tales como restos de cosecha, polvo, etc., quedando pendiente una selección final de mayor precisión. Con la operación de selección se busca remover los granos no aptos para ser semillas así como también las piedras y terrones que no fueron removidos durante la limpieza. Las actividades preventivas que se llevan a cabo en las fases previas a la selección tienen un efecto apreciable en la calidad de las semillas. La selección final será más fácil y más eficaz cuando la semilla ha sido cosechada oportunamente y se han minimizado los daños físicos durante la trilla (Garay *et al.*, 1992).

2.10.1 Métodos de selección de semilla de frijol

Los granos de menor tamaño normalmente incluyen semillas inmaduras, enfermas, arrugadas, u otras que por razones de tipo agronómico, patológico, o fisiológico, no alcanzaron el tamaño normal de la variedad. Estas semillas son de inferior calidad que las semillas que han llegado a su tamaño normal. Su separación se consigue utilizando zarandas de orificios apropiados. Dado que el tamaño de las semillas cambia con la variedad, la región, el año, el nivel de sequía, etc., es necesario contar con un juego de zarandas con perforaciones de diferentes tamaños para poder realizar un trabajo efectivo. La forma y el tamaño de las perforaciones de las zarandas dependerán del tipo de contaminantes que se desea remover. En actividades en pequeña escala, las zarandas manuales permiten desarrollar esta selección satisfactoriamente. Otra alternativa para llevar a cabo la selección de las semillas es utilizar una corriente de aire (Garay *et al.*, 1992).

Con este fin la unidad de semillas ha mejorado la limpiadora neumática, añadiéndole un alimentador y una compuerta para regular el paso del aire. De esta forma se logra que el aire realice un trabajo de selección mucho más preciso, levantando no sólo la materia inerte liviana, sino también gran parte de los granos inmaduros, partidos, mal formados, y enfermos, facilitando o eliminado de esta manera el trabajo de selección manual. La capacidad de esta seleccionadora neumática es de 1000 kg/hr, las semillas seleccionadas con zarandas y/o aire son de tamaño uniforme; pero generalmente quedan algunos granos manchados, decolorados, podridos, infectados, pregerminados, y otros que, a pesar de tener la forma/tamaño similar a los granos seleccionados, tienen serios defectos. También pueden quedar piedras, terrones u otros materiales que no fue posible separar en las etapas previas. La remoción de estos materiales indeseables se puede hacer manualmente (Garay *et al.*, 1992).

Para sistematizar esta labor, se han construido varios modelos de mesas de selección que permiten utilizar la mano de obra familiar o local. Un modelo consta de una tolva de alimentación de piso inclinado que automáticamente deja caer el grano a una malla

perforada. La selección manual se realiza sobre la malla. La labor de la persona se concentra en la selección. Dado que la superficie sobre la cual se selecciona es una zaranda, la selección por tamaño ocurre simultáneamente en la selección manual. La capacidad de la operación dependerá de la cantidad de granos indeseables con que viene la semilla de las etapas anteriores. Esta selección final permite obtener un producto selecto, puro, sano, y con óptima presentación (Garay *et al.*, 1992).

2.10.2 Determinación de la capacidad de germinar

No es posible conocer el nivel de germinación o vigor de una semilla con sólo observarla. Las semillas pueden tener una excelente apariencia y estar muertas, o mostrar mala apariencia y tener buena germinación y vigor. Las propiedades fisiológicas de la semilla, aquellas que le dan la capacidad de mantenerse viva y producir una plántula vigorosa, son propiedades que se deterioran fácilmente. Los métodos preventivos aumentan la probabilidad de que las semillas selectas sean puras, sanas, y germinables al final del proceso. La evaluación de la germinación constituye entonces una verificación necesaria. El entendimiento de algunos principios básicos permite el desarrollo de métodos simples para evaluar la germinación (Garay *et al.*, 1992).

Cuando una semilla está seca, se encuentra en estado de reposo. Cuando se humedece en un sustrato con temperatura y oxígeno apropiados, la semilla viva germina. En situaciones de laboratorio, este fenómeno se simula usando diferentes sustratos, como son papeles de germinación, arena, o tierra. Entre éstos, la arena tiene ventajas por la facilidad de implementación y la capacidad de replicarla. La tierra es también una buena alternativa siempre disponible aunque de difícil replicación por las variaciones existentes. El papel utilizado en las pruebas de germinación no es fácil de conseguir pero es necesario si se desea estandarizar el proceso y cuando se usan cabinas de germinación en las que el espacio es un limitante (Garay *et al.*, 1992).

En ambientes tropicales y subtropicales, la temperatura ambiental no es una limitante para la germinación. Temperaturas ambientales entre 20 °C y 30 °C son apropiadas y frecuentes. En climas frescos (promedio de temperatura de 20 °C) se pueden colocar las cajas de germinación al sol y esperar algunos días adicionales hasta que alcance el desarrollo necesario para evaluar las plántulas. Un método sencillo para evaluar la germinación consiste en humedecer el sustrato (tierra o arena) hasta capacidad de campo. Se dice que está a capacidad de campo, cuando al apretarlo con el puño se forma un terrón que no se deshace. Se preparan bandejas con una capa de sustrato de 4 cm de espesor. Las semillas se siembran a una profundidad de 2-3 cm. Las bandejas se colocan en estanterías de madera y se ubican en un área protegidas del sol, la lluvia, y los vientos fuertes. La humedad del sustrato, se mantiene cubriendo la estantería con plástico transparente y/o por medio de riegos periódicos de acuerdo con la necesidad (Garay *et al.*, 1992).

En condiciones de temperaturas normales en el trópico, el frijol estará suficientemente desarrollado para la evaluación a los 7-10 días después de la siembra. Es deseable que las plántulas se desarrollen con luz natural indirecta para que adquieran su color verde normal. La evaluación de la germinación se facilita con este método, pues las semillas muertas no emergen del sustrato. Entre las plántulas que han emergido, basta diferenciar las plántulas normales de las anormales para saber el porcentaje de germinación. Otra manera sencilla de evaluar la germinación de las semillas es sembrándolas directamente en parcelas de un metro cuadrado en el suelo, donde las condiciones de humedad, temperatura, suelo, plagas, etc. son más aproximadas a las condiciones reales de estrés a las que estará sometida durante la emergencia en el campo. Catorce días después de la siembra se evalúa la germinación tal como se mencionó anteriormente (Garay *et al.*, 1992).

El porcentaje de plántulas normales representa el nivel de emergencia del lote de semillas. En cualquiera de los métodos descritos, las plántulas deben ser evaluadas como normales o anormales. Para ser catalogada como normal (que son las que se reportan como germinadas). La plántula debe tener las raíces, el hipocótilo, los

cotiledones, y las hojas primarias presentes y sanas. También se consideran como normales aquellas plántulas que tienen pequeñas imperfecciones, tales como la ausencia de una hoja primaria, la falta de un cotiledón, o una necrosis superficial. Se considera que un lote es bueno para semilla cuando tiene una germinación superior al 80%. Semillas que germinan en forma rápida y uniforme, que muestran plántulas sanas, y que alcanzan niveles superiores al 90% de germinación total, se pueden considerar como semillas de alta calidad. Cuanto más se acerque al 100%, tanto mejor será el lote de semilla (Garay *et al.*, 1992).

2.11 ALMACENAMIENTO

La empresa productora de semillas debe planificar la producción de tal modo que evite o acorte el tiempo de almacenamiento. Esta estrategia permite resolver los problemas técnicos y económicos que implica el almacenamiento prolongado. Si la semilla no es distribuida o sembrada en un tiempo breve, se deben tener precauciones especiales para mantener las semillas viables y libres de hongos e insectos hasta el momento de la distribución y utilización. El almacenamiento, así como el secamiento, tiene una relación estrecha con el ambiente físico imperante (humedad relativa y temperatura). Frecuentemente, técnicos y agricultores atribuyen las pérdidas de germinación y la contaminación por hongos exclusivamente a las condiciones de almacenamiento. También se tiene el concepto de que la semilla está almacenada únicamente cuando está guardada en la bodega (Garay *et al.*, 1992).

Esta mentalidad induce a hacer énfasis casi exclusivo en infraestructuras para almacenar la semilla, olvidando la búsqueda y aplicación de esquemas preventivos y otras alternativas. Para comprender el problema del almacenamiento, se requiere primero entender algunos conceptos sobre la naturaleza de la semilla y conocer el ambiente físico que requiere para su buena conservación. Como ya se mencionó, en términos biológicos, la semilla ha llegado a su estado de desarrollo total en el momento en que alcanza su madurez fisiológica. Aunque físicamente la semilla aún está dentro de la vaina, biológicamente la semilla inicia su fase de almacenamiento desde que llega

a la madurez. Por eso debe recordarse que la semilla empieza su fase de almacenamiento antes de llegar al almacén o bodega. Para ampliar un poco estos conceptos, el almacenamiento se puede dividir en tres fases: 1) fase de secamiento, 2) fase de acondicionamiento, y 3) fase de bodega (Garay *et al.*, 1992).

2.11.1 Fase de secamiento

La fase de secamiento se inicia cuando la semilla ha llegado a la madurez fisiológica y termina cuando su humedad está por debajo del 13%. El clima juega un papel muy significativo en esta fase, pudiendo acelerar la deshidratación del grano con los consiguientes efectos benéficos o impidiendo la deshidratación con los consiguientes efectos negativos. Como regla general cuanto más corta sea esta fase, tanto mejor será para la calidad de la semilla. La producción de semillas en condiciones ambientales secas, en las que la semilla se deshidrata en el campo rápidamente, tiene resuelto los problemas de deterioro de la fase húmeda. En cambio, en ambientes en los que la deshidratación no ocurre rápidamente, las cosechas oportunas y el secamiento artificial tienen gran importancia. Los daños que la semilla haya sufrido en esta etapa repercuten en la germinación, el vigor, la sanidad, el rendimiento de la semilla y el tiempo que durará viva en las etapas siguientes (Garay *et al.*, 1992).

2.11.2 Fase de acondicionamiento

La fase de acondicionamiento es la fase durante la cual la semilla se selecciona, trata (opcionalmente), y envasa. Por razones técnicas y/o administrativas, estas actividades pueden durar o pocos días o algunos meses. Sin embargo, aunque la semilla está seca, durante esta fase puede sufrir daños por gorgojos, impactos físicos, altas temperaturas, rehidratación u otros factores (Garay *et al.*, 1992).

2.11.3 Fase de Bodega

La fase de bodega es la fase que clásicamente se ha denominado como almacenamiento. Cuando las condiciones agroclimáticas (trópico y subtropical)

permiten planificar la producción, esta fase puede ser acortada y en algunos casos eliminada. Si la semilla no ha sufrido deterioros en las fases anteriores, esta fase deberá ser la menos problemática, especialmente en regiones con baja humedad relativa (humedad relativa menor a 60%) donde la semilla no se rehidrata. Esto permite almacenarla en condiciones ambientales durante períodos largos (hasta 9 meses). En regiones húmedas (humedad relativa mayor a 60%), el almacenamiento natural es posible, pero solamente durante cortos períodos de tiempo (menores a 2 meses). Para almacenamiento a más largo plazo (hasta 9 meses), una alternativa es el almacenamiento de semillas en recipientes que impiden la entrada del aire húmedo (Garay *et al.*, 1992).

Semillas de frijol, de buena calidad inicial, libres de insectos, y con un contenido de humedad por debajo del 11%, pueden ser almacenadas herméticamente a 30 °C hasta por 8 meses, sin sufrir pérdidas significativas en su calidad fisiológica. Para este tipo de almacenamiento se pueden usar diferentes recipientes: bolsas de plástico gruesas o multilaminadas, recipientes de plástico o de metal, silos metálicos herméticos. Si no se usa almacenamiento hermético, para controlar el ataque de insectos (especialmente gorgojos) se deben hacer fumigaciones con productos que no tengan efecto residual; así la semilla también podrá ser utilizada para consumo humano o animal en caso de no ser sembrada. Además de los insecticidas comerciales, el ataque de gorgojos puede prevenirse mezclando las semillas con diferentes sustancias tales como aceite vegetal, arena, ceniza, y otras sustancias caseras (Garay *et al.*, 1992).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La fase pos cosecha del frijol, llamada desgranado, se realiza generalmente desconociendo el daño mecánico que los diferentes métodos de desgrane provocan a la semilla; daño que repercute de inmediato y con el tiempo en el deterioro fisiológico de la semilla, dando como resultado la disminución en la viabilidad de ésta, repercutiendo en la calidad de la misma, como consecuencia se reduce la vida de almacenamiento de la semilla y la respuesta y expresión que tenga en el campo.

3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El frijol es la leguminosa más consumida en Guatemala. La siembra de esta especie se hace principalmente en las regiones oriental, norte, occidental y una mínima parte en el sur. Son cerca de 300,000 hectáreas sembradas (INE, 2004).

En los últimos años se ha incrementado la siembra de frijol, ocupando el primer lugar entre las leguminosas sembradas en Guatemala; sin embargo, la oferta no cubre la demanda. Hay incremento de la importación, lo que provoca que sea incentivada la producción. Ante esta situación se busca brindar soluciones técnicas y prácticas aplicables a los problemas críticos que afectan su productividad; uno de estos es el método que utilice en el desgrane, por lo que mediante la utilización de un sistema adecuado de aporreo que provoque el mínimo daño mecánico a la semilla, se daría a los agricultores frijoleros la solución a este problema.

Debido a esto, es necesario generar y contar con información para dar recomendaciones técnicas para esta fase pos cosecha denominada desgranado. Esta investigación proporciona elementos científicos y técnicos para dar recomendaciones a los productores, y reducir los daños físicos ocasionados a la semilla en el desgranado de la misma, ya que el método y la calidad de desgranado que se utiliza repercute en la cantidad de este insumo primordial en la agricultura.

Pudiendo en un momento elevar los costos de producción. Además, con esta investigación se pretende contribuir a la generación de información para la elaboración de un protocolo en la producción de semilla de frijol de buena calidad, en sus diferentes categorías.

IV.OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar el daño mecánico y fisiológico causado a la semilla de frijol por efecto del porcentaje de humedad y método de desgrane utilizado.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Evaluar el daño mecánico que provocan el método y la humedad de la semilla de frijol, al momento del desgrane.
- ✓ Evaluar el efecto del método de desgrane y la humedad del grano sobre el deterioro fisiológico en la semilla de frijol.

V. HIPÓTESIS

- ✓ Existe al menos un porcentaje de humedad y un método de desgrane de frijol que provoca menor daño mecánico a la semilla.
- ✓ Existe al menos un porcentaje de humedad y un método de desgrane de frijol, que provocan menor daño fisiológico a la semilla.

VI. METODOLOGÍA

6.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL TRABAJO

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), es la institución donde se desarrolló el trabajo, en el centro de Investigación de La Alameda, Chimaltenango.

6.1.1 Localización

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), La Alameda, Chimaltenango, se encuentra localizado en la región central de la República de Guatemala, en el departamento de Chimaltenango, a una distancia de 53 kilómetros de la ciudad capital. Se localiza en las siguientes coordenadas: 14° 39' 30" de latitud norte y 90° 49' 30" de longitud oeste, con una altura de 1786 msnm. Figura 2.



Figura 2. Ubicación geográfica del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.

6.1.2 Vías de acceso

Se cuenta con carretera asfaltada de 53 kilómetros desde la ciudad capital, y a una distancia de 3 kilómetros de la cabecera departamental y con comunicación de terracería a la carretera principal que conduce a La Antigua Guatemala (INSIVUMEH, 1999).

6.1.3 Relieve

El relieve del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), Chimaltenango, es relativamente plano, con una pendiente entre uno y dos por ciento en toda el área experimental (INSIVUMEH, 1999).

6.1.4 Condiciones climáticas

En cuanto a las condiciones climáticas que se presentan en el área experimental, tenemos las siguientes:

Precipitación anual 1244 mm

Temperatura media anual 22.6 °C

Temperatura máxima anual 25.6 °C

Temperatura mínima anual 5.8 °C

Biotemperatura 15 – 23 °C (Osami, 2000)

6.1.5 Zona de vida

Pertenece a la zona de vida clasificada como Bosque muy Húmedo Subtropical Montano Bajo. La vegetación típica del lugar está representada por especies de (*Quercus* sp), asociado con (*Pinus pseudostrobus* Lind) y (*Pinus moctesumae* lamber), (ICTA, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, GT. 1997).

6.1.6 Geología y suelos

Los suelos pertenecen a la serie Cauqué, siendo sus características las siguientes: son suelos profundos, bien drenados, con textura franca y arenosa, desarrollados sobre cenizas volcánicas, pómez de color claro, relieve ondulado, el suelo superficial de color café oscuro, consistencia suelta a friable con un espesor aproximado de 25 – 40 centímetros, el subsuelo color café (ICTA, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, GT. 1997).

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

Para la investigación se utilizó semilla de frijol de la variedad ICTA Hunapú.

Semilla de frijol Variedad ICTA Hunapú: se utilizaron 66 kilos de frijol para realizar los análisis planteados, con buena adaptación vegetativa y reproductiva a las condiciones de alturas comprendidas entre 1500 a 2300 msnm. Las plantas en campo definitivo presentan resistencia a la ascochyta, antracnosis y roya, un ciclo de 50 días a floración, flores color morado, color de la vaina es morada, altura promedio de las plantas es de 60 centímetros de 110 días a madurez fisiológica, a 115 días a la cosecha el rendimiento promedio es de 2,273 kg/ha.

6.3 FACTORES ESTUDIADOS

6.3.1 Humedad en el desgrane:

La humedad de desgrane se determinó por medio de un determinador de humedad marca Dole 400. La semilla luego de la fase de cosecha fue expuesta al sol, para reducir paulatinamente la humedad hasta llegar a las humedades a las que se realizaron los diferentes métodos de desgranado, y son las siguientes:

18%
16%
15%
14%
13%.

6.3.2 Método de desgrane.

- a. **Aporreo sobre plástico en tierra**, este método de desgrane se ejecutó, golpeando las macollas de frijol, expuestas sobre un lienzo de nylon de 5 milímetros de espesor, sobre el suelo, con un maso de madera llamado comúnmente garrote.

- b. **Aporreo en patio de concreto**, este método de desgrane se ejecutó, golpeando las macollas de frijol, expuestas sobre un piso de concreto, con un maso de madera llamado comúnmente garrote.
- c. **Aporreo en tapesco**, este método de desgrane se ejecutó, golpeando con un maso de madera llamado comúnmente garrote, las macollas de frijol, expuestas sobre un tapesco fabricado con madera.
- d. **Desgrane mecanizado con desgranadora**, se realizó utilizando una máquina desgranadora de maíz, la cual es accionada por la toma de fuerza del tractor.
- e. **Desgrane con tractor por pisoteo de neumático**, se realizó pasándole encima el neumático del tractor en movimiento, a la cama amontonada de plantas de frijol.
- f. **Desgrane manual**, desgranando vaina por vaina; este método se utilizó como testigo, únicamente para determinar la evolución fisiológica de la germinación y vigor de la semilla con cero daño.

6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos provienen de desarrollar el factorial 6 x 5, es decir 6 métodos de desgrane y 5 humedades de la semilla al momento del desgrane; entre los tratamientos se involucró un testigo, éste consistió en un desgrane manual. En el cuadro 2 se describen los tratamientos evaluados.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos de la interacción de método de desgrane y humedad del grano de frijol, evaluados en el trabajo.

No. Tratamiento	Forma de desgrane	Combinación
1	Aporreo sobre plástico en tierra 18 %H	A1H1
2	Aporreo sobre plástico en tierra 16 %H	A1H2
3	Aporreo sobre plástico en tierra 15%H	A1 H3
4	Aporreo sobre plástico en tierra 14%H	A1 H4
5	Aporreo sobre plástico en tierra 13%H	A1 H5
6	Aporreo en patio de concreto 18 %H	A2H1
7	Aporreo en patio de concreto 16 %H	A2H2
8	Aporreo en patio de concreto 15%H	A2H3
9	Aporreo en patio de concreto 14%H	A2H4
10	Aporreo en patio de concreto 13%H	A2H5
11	Aporreo en tapesco 18 %H	A3H1
12	Aporreo en tapesco 16 %H	A3H2
13	Aporreo en tapesco 15%H	A3H3
14	Aporreo en tapesco 14%H	A3H4
15	Aporreo en tapesco 13%H	A3H5
16	Desgrane mecanizado con desgranadora 18 %H	A4H1
17	Desgrane mecanizado con desgranadora 16 %H	A4H2
18	Desgrane mecanizado con desgranadora 15%H	A4H3
19	Desgrane mecanizado con desgranadora 14%H	A4H4
20	Desgrane mecanizado con desgranadora 13%H	A4H5
21	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 18 %H	A5H1
22	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 16 %H	A5H2
23	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 15%H	A5H3
24	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 14%H	A5H4
25	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 13%H	A5H4
26	Desgrane manual 18 %H	A6H1
27	Desgrane manual 16 %H	A6H2
28	Desgrane manual 15%H	A6H3
29	Desgrane manual 14%H	A6H4
30	Desgrane manual 13%H	A6H5

6.5 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para evaluar los tratamientos se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Se efectuaron cuatro repeticiones en cada tratamiento (Quemé, 2002).

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico para la investigación fue el siguiente:

$$Y_{yij} = M + T_i + S_j + (TS)_{ij} + e_{ij} .$$

Dónde:

Y_{yij} = valor observado o medido de la variable respuesta en la ij – ésima unidad experimental

M = es el valor de la media general

T_i = efecto del i – ésimo método de desgrane

S_j = efecto de la j – ésima humedad de la semilla

$(TS)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i – ésimo método de desgrane y la j – ésima humedad de la semilla

e_{ij} = error experimental

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

Se utilizó 2.2 kilogramos de semillas de frijol Hunapú para realizar los diferentes análisis planteados a cada tratamiento.

6.8 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Al cosechar las plantas de frijol Hunapú, se realizó una prueba de determinación de humedad de la semilla por medio de un aparato determinador de humedad eléctrico marca Dole 400, donde se determinó que el grano poseía un 24% de humedad. Las plantas cosechadas, fueron expuestas al sol para reducir paulatinamente el contenido de humedad de la semilla de un 18% a 16%, 15%, 14% y finalmente a un 13%, el cual

fue medido por medio del aparato determinador de humedad marca Dole 400 con muestreos cada 24 horas. Cada vez que la semilla de frijol alcanzaba un porcentaje requerido para esta investigación, se seleccionaba un grupo de plantas cosechadas, en las cuales se realizaron los métodos de aporreo siguientes: a. aporreo sobre plástico en tierra utilizando un maso de madera denominado garrote; b. aporreo en patio de concreto utilizando un maso de madera denominado garrote; c. aporreo sobre una estructura de tapesco utilizando un maso de madera denominado garrote; d. desgrane mecanizado utilizando una máquina desgranadora mecánica la cual es accionada por la toma de fuerza del tractor; e. desgrane con tractor pasándole encima el neumático a la cama amontonada de plantas de frijol; f. desgrane manual vaina por vaina.

Luego de recolectar la semilla desgranada por los diferentes métodos de desgranado a los porcentajes de humedad propuestos, se procedió a realizar la prueba de determinación de daño mecánico, se colocaron 400 semillas producto de cada tratamiento, en un recipiente con un volumen de agua de 1000cc, durante 15 minutos, luego de ello, por efecto de imbibición, los granos de semilla dañados, presentaron desprendimiento de la testa y fisuras en la testa, por lo que se cuantificaron las semillas dañadas identificándolas por medio de una lupa para observar los daños de mejor forma y cuantificarlos en porcentaje.

Para evaluar la variable germinación, se seleccionaron muestras de dos kilogramos de semilla de frijol Hunapú por cada uno de los tratamientos planteados, de los cuales, un kilogramo de cada muestra fue destinado para las pruebas de vigor; se les realizó el método de envejecimiento acelerado, que consistió en colocar las semillas dentro de un germinador eléctrico marca apex, durante 96 horas, a 42 °C y 100% de humedad relativa. Posteriormente, con el objetivo de reducir la humedad de la semilla a un 12% para ser almacenadas en contenedores de plástico herméticos, todas las muestras de semilla de frijol Hunapú fueron introducidas nuevamente al germinador eléctrico marca apex, durante 24 horas a una temperatura de 35 °C y 0% de humedad relativa.

6.9 VARIABLES DE RESPUESTA

6.9.1 Porcentaje de germinación

Se determinó por medio de una prueba de germinación estándar, que consistió en:

Prueba de germinación estándar: Para evaluar la calidad fisiológica de la semilla, se aplicó la prueba del método “entre papel”, propuesto por la International Seed Testing Association (ISTA, 2004), cada unidad experimental consistió en colocar 100 semillas sobre toallas de papel, enrollarlas e hidratarlas, se realizaron 4 repeticiones por tratamiento. En total se realizaron pruebas de germinación durante 8 fechas, la primera a los 15 días de almacenamiento de la semilla y así sucesivamente cada 15 días, durante 4 meses, lo cual generó en el último muestreo, un periodo de almacenaje de 120 días. Se cuantificó el número de semillas de frijol germinadas en cada unidad experimental, la tasa de germinación se calculó con la fórmula propuesta por Maguire y se expresó en porciento.

Período de germinación: se verificó en cada unidad experimental, durante cada una de las pruebas de germinación estándar, el número de días que requirió la semilla de frijol para germinar, cada dato de germinación representa la cantidad de días para emitir la raíz; la tasa de germinación se calculó con la fórmula propuesta por Maguire y se expresó en porciento. Estas mediciones de cantidad de días que tardó en germinar las semillas de frijol en cada unidad experimental, se realizó durante las 8 fechas de pruebas de germinación, para cada tratamiento.

Porcentaje de viabilidad o vigor de la semilla: la semilla que fue sometida a método de envejecimiento acelerado (García y Lasa, 1991), fue utilizada para realizar pruebas de germinación para determinación de vigor. Cada unidad experimental consistió en colocar 100 semillas sobre toallas de papel, enrollarlas e hidratarlas, se realizaron 4 repeticiones por tratamiento. En total se realizaron pruebas de germinación para vigor durante 8 fechas, la primera a los 15 días de almacenamiento de la semilla y así

sucesivamente cada 15 días, durante 4 meses, lo cual generó en el último muestreo, un periodo de almacenaje de 120 días. Las semillas de frijol germinadas, representan el porcentaje de vigor de cada unidad experimental, la tasa de germinación se calculó con la fórmula propuesta por Maguire y se expresó en porciento.

6.9.2 Daño mecánico

La evaluación del daño mecánico tuvo lugar al finalizar cada actividad de desgranado de los 30 tratamientos propuestos, por lo cual se realizaron 30 pruebas de daño mecánico. Por cada tratamiento, se colocó 400 semillas en un recipiente con un volumen de agua de 1000cc, durante 15 minutos. La testa de las semillas que no habían sufrido daño, estaban arrugadas pero enteras. La testa de las semillas con daño se había separado de los cotiledones, indicando que la testa estaba fisurada. Se observaron y cuantificaron fisuras y daños en la testa de la semilla de frijol por medio de una lupa. El número de semillas dañadas por cada muestra, expreso en porcentaje el daño en cada tratamiento.

6.10 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

6.10.1 Análisis estadístico

Las distintas variables fueron evaluadas por medio de análisis de varianza utilizando el programa estadístico Infostat, y cuando se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, se procedió a realizar una prueba de separación de medias, por medio de la prueba DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves), al 5% de probabilidad de error, utilizando el mismo programa estadístico.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 DAÑO MECÁNICO

En el cuadro 3 se presentan los resultados del daño mecánico provocado a la semilla de frijol, en cada método de desgrane a diferentes porcentajes de humedad evaluados.

Cuadro 3. Daño mecánico provocado a la semilla de frijol debido al método de desgrane utilizado, a diferentes porcentajes de humedad.

No. Tratamiento	Forma de desgrane	Combinación	% Daño mecánico
1	Aporreo sobre plástico en tierra 18 %H	A1H1	8
2	Aporreo sobre plástico en tierra 16 %H	A1H2	7
3	Aporreo sobre plástico en tierra 15%H	A1 H3	3
4	Aporreo sobre plástico en tierra 14%H	A1 H4	4
5	Aporreo sobre plástico en tierra 13%H	A1 H5	7
6	Aporreo en patio de concreto 18 %H	A2H1	10
7	Aporreo en patio de concreto 16 %H	A2H2	9
8	Aporreo en patio de concreto 15%H	A2H3	5
9	Aporreo en patio de concreto 14%H	A2H4	6
10	Aporreo en patio de concreto 13%H	A2H5	7
11	Aporreo en tapasco 18 %H	A3H1	4
12	Aporreo en tapasco 16 %H	A3H2	3
13	Aporreo en tapasco 15%H	A3H3	2
14	Aporreo en tapasco 14%H	A3H4	3
15	Aporreo en tapasco 13%H	A3H5	3
16	Desgrane mecanizado con desgranadora 18 %H	A4H1	14
17	Desgrane mecanizado con desgranadora 16 %H	A4H2	12
18	Desgrane mecanizado con desgranadora 15%H	A4H3	10
19	Desgrane mecanizado con desgranadora 14%H	A4H4	11
20	Desgrane mecanizado con desgranadora 13%H	A4H5	11
21	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 18 %H	A5H1	13
22	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 16 %H	A5H2	12
23	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 15%H	A5H3	7
24	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 14%H	A5H4	8
25	Desgrane con tractor por pisoteo de neumático 13%H	A5H4	9
26	Desgrane manual 18 %H	A6H1	0.25
27	Desgrane manual 16 %H	A6H2	0
28	Desgrane manual 15%H	A6H3	0
29	Desgrane manual 14%H	A6H4	0
30	Desgrane manual 13%H	A6H5	0

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 3, se observa que el método de aporreo y porcentaje de humedad en la semilla de frijol con el cual se le provocó menor daño mecánico (0 a 0.25%) fue el desgrane manual, éste solamente es un testigo, ya que es una labor impráctica por el tiempo que requiere a nivel comercial; el tratamiento que consiste en el método de aporreo en tapesco, a una humedad del 15%, provocó en esta investigación únicamente 2% de daño mecánico a la semilla de frijol, lo cual muestra que es el método de aporreo y humedad con los cuales se le provocó el menor daño mecánico a la semilla de frijol. Mientras que el tratamiento que consiste en aporreo mecanizado y humedad de 18%, es la combinación de factores que mayor daño mecánico (14%) provocó a la semilla de frijol al momento del desgrane.

En el cuadro 4 se presenta el análisis de varianza para la variable daño mecánico, donde los factores a evaluar fueron fecha, aporreo, humedad y la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane.

Cuadro 4. Análisis de varianza para la variable daño mecánico.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	
Modelo	17049.40	36	473.59	1090.09	<0.0001	**
Fecha	0.00	7	0.00	0.00	>0.9999	NS
Aporreo	14679.80	5	2935.96	6757.83	<0.0001	**
Humedad	1647.73	4	411.93	948.17	<0.0001	**
Aporreo*humedad	721.87	20	36.09	83.08	<0.0001	**
Error	401.00	923	0.43			
Total	17450.40	959				

**= Diferencia estadística altamente significativa

CV=10.50

NS= No existe diferencia estadística significativa

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 4, del análisis de varianza para la variable de respuesta daño mecánico, es altamente significativo (al 1%) para los factores método de aporreo, humedad de desgrane con el cual se aporrea, y la interacción método de aporreo por humedad de desgrane; por lo cual se determina que estos influyen en la variable de respuesta porcentaje de germinación. Es por ello que se procedió a realizar una prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por

contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane. El factor de fecha de lectura de germinación resulto no tener diferencia estadística significativa, por lo cual se determina que no influye en la variable de respuesta porcentaje de germinación.

En el cuadro 5 se presenta la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane, para determinar la influencia de estos factores en el daño mecánico en la semilla de frijol.

Cuadro 5. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane, y su influencia en el daño mecánico en la semilla de frijol.

Aporreo	% Humedad	Medias % daño mecánico	*
Desgrane manual	16	0.00	A
Desgrane manual	13	0.00	A
Desgrane manual	14	0.00	A
Desgrane manual	15	0.00	A
Desgrane manual	18	0.25	A
Aporreo en tapesco	15	2.00	B
Aporreo sobre plástico en tierra	15	3.00	C
Aporreo en tapesco	16	3.00	C
Aporreo en tapesco	13	3.00	C
Aporreo en tapesco	14	3.00	C
Aporreo sobre plástico en tierra	14	4.00	D
Aporreo en tapesco	18	4.00	D
Aporreo en patio de concreto	15	5.00	E
Aporreo en patio de concreto	14	6.00	F
Aporreo sobre plástico en tierra	16	7.00	G
Aporreo en patio de concreto	13	7.00	G
Aporreo sobre plástico en tierra	13	7.00	G
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	15	7.00	G
Aporreo sobre plástico en tierra	18	8.00	H
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	14	8.00	H
Aporreo en patio de concreto	16	9.00	I
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	13	9.00	I
Aporreo en patio de concreto	18	10.00	J
Desgrane mecanizado con desgranadora	15	10.00	J
Desgrane mecanizado con desgranadora	13	11.00	K
Desgrane mecanizado con desgranadora	14	11.00	K
Desgrane mecanizado con desgranadora	16	12.00	L
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	16	12.00	L
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	18	13.00	M
Desgrane mecanizado con desgranadora	18	14.00	N

*=Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

PCALT=0.3563

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 5, se observa que la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) sobre la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane, el desgrane manual presenta el menor daño mecánico, éste solamente es un testigo, ya que es una labor impráctica por el tiempo que requiere a nivel comercial; el tratamiento que consiste en el método de aporreo en tapesco, a una humedad del 15%, provocó en esta investigación una media de 2% de daño mecánico a la semilla de frijol, lo cual muestra que es el método de aporreo y humedad con los cuales se le provocó el menor daño mecánico a la semilla de frijol. Mientras que el tratamiento que consiste en aporreo mecanizado y humedad de 18%, es la combinación de factores que mayor daño mecánico (14%) provocó a la semilla de frijol al momento del desgrane.

7.2 GERMINACIÓN

En el cuadro 6 se presenta el análisis de varianza para la variable germinación, donde los factores a evaluar fueron fecha, aporreo, humedad y la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane.

Cuadro 6. Análisis de varianza para la variable germinación.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	
Modelo	20132.20	36	559.23	405.62	<0.0001	**
Fecha	6864.86	7	980.69	711.31	<0.0001	**
Aporreo	11304.78	5	2260.96	1639.91	<0.0001	**
Humedad	1270.39	4	317.60	230.36	<0.0001	**
Aporreo*humedad	692.17	20	34.61	25.10	<0.0001	**
Error	1272.55	923	1.38			
Total	21404.75	959				

**= Diferencia estadística altamente significativa

CV=1.29

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 6, del análisis de varianza para la variable de respuesta germinación, es altamente significativo (al 1%) para los factores fecha de lectura de germinación, método de aporreo, humedad de desgrane con el cual se aporrea, y la interacción método de aporreo por humedad de desgrane; por lo cual

se determina que estos influyen en la variable de respuesta porcentaje de germinación. Es por ello que se procedió a realizar una prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para los factores fecha de lectura del porcentaje de la germinación y la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane.

En el cuadro 7 se presenta la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura del porcentaje de la germinación.

Cuadro 7. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura del porcentaje de la germinación.

Fecha	Medias % germinación	*
1 (15 días de almacenaje)	95.31	A
2 (30 días de almacenaje)	94.12	B
3 (45 días de almacenaje)	93.24	C
4 (60 días de almacenaje)	92.08	D
5 (75 días de almacenaje)	90.94	E
6 (90 días de almacenaje)	89.86	F
7 (105 días de almacenaje)	88.44	G
8 (120 días de almacenaje)	87.00	H

*= Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) $PCALT=0.3076$

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 7, se observa que la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) sobre la fecha de lectura, en la cual se obtiene un mayor porcentaje de germinación de la semilla de frijol, en la primera lectura (a los quince días), a diferencia de la última lectura a los 120 días, donde la germinación se disminuye en comparación con la primer lectura en 8.31 % de germinación, esto indica que la reducción del porcentaje de la germinación es inversamente proporcional al período de almacenaje, ya que mientras mayor sea el período de tiempo que se almacene una semilla, menor será el porcentaje de germinación que tendrá en campo definitivo.

En el cuadro 8 se presenta la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad, al momento del desgrane, para determinar la influencia de estos factores en el porcentaje de germinación en la semilla de frijol.

Cuadro 8. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad, al momento del desgrane, para determinar la influencia de estos factores en el porcentaje de germinación en la semilla de frijol.

Aporreo	Humedad %	Medias % germinación	*
Desgrane manual	14	96.69	A
Desgrane manual	15	96.63	A
Desgrane manual	16	96.63	A
Aporreo en tapesco	15	96.44	A
Desgrane manual	13	96.28	A
Aporreo en tapesco	13	96.06	B
Desgrane manual	18	95.81	B
Aporreo en tapesco	14	95.44	B
Aporreo en tapesco	16	95.31	B
Aporreo sobre plástico en tierra	15	94.38	C
Aporreo en tapesco	18	93.09	D
Aporreo sobre plástico en tierra	14	92.81	D
Aporreo sobre plástico en tierra	16	92.56	D
Aporreo en patio de concreto	14	91.53	E
Aporreo en patio de concreto	15	91.16	E
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	15	89.59	F
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	14	89.25	F
Aporreo sobre plástico en tierra	13	89.19	F
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	16	89.16	F
Aporreo en patio de concreto	13	89.03	F
Desgrane mecanizado con desgranadora	16	88.75	G
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	13	88.56	G
Aporreo sobre plástico en tierra	18	88.41	G
Aporreo en patio con concreto	16	88.16	H
Desgrane mecanizado con desgranadora	15	88.00	H
Aporreo en patio de concreto	18	87.59	H
Desgrane mecanizado con desgranadora	14	86.75	I
Desgrane mecanizado con desgranadora	13	86.72	I
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	18	86.19	I
Desgrane mecanizado con desgranadora	18	85.06	J

*= Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) PCALT=0.6347

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 8, de la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves), sobre la combinación de factores del Método de aporreo manual, a humedades del 13% al 16%

producen un mayor porcentaje de germinación 96.28% a 96.69% en la semilla. Y el método de aporreo o desgrane en tapesco al 15% de humedad al desgrane, provocó una germinación de 96.44 %. Analizando esta información el método de aporreo en tapesco al 15% de humedad de desgrane es el tratamiento que presenta mejor porcentaje de germinación. La combinación de factores que influye negativamente dando un menor porcentaje de germinación es el método de desgrane mecanizado a humedad de desgrane de 18 %, habiendo una diferencia de 11.38% de germinación en comparación con el mejor tratamiento. El testigo desgrane manual presenta altos porcentajes de germinación, sin embargo, es una labor impráctica que comercialmente no se realiza por el tiempo que requiere para su ejecución.

7.3 VIGOR

En el cuadro 9 se presenta el análisis de varianza para la variable vigor, donde los factores a evaluar fueron fecha, aporreo, humedad y la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane.

Cuadro 9. Análisis de varianza, para la variable vigor.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	41979.92	36	1166.11	411.28	<0.0001	**
Fecha	13469.98	7	1924.28	678.68	<0.0001	**
Aporreo	25616.28	5	5123.26	1806.93	<0.0001	**
Humedad	1519.90	4	379.98	134.01	<0.0001	**
Aporreo*humedad	1373.75	20	68.69	24.23	<0.0001	**
Error	2617.02	923	2.84			
Total	44596.93	959				

**= Diferencia estadística altamente significativa CV=1.95

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 9, de análisis de varianza para la variable de respuesta vigor, fue altamente significativo (al 1%) para los factores fecha de lectura del vigor, método de aporreo, humedad de desgrane con el cual se aporrea, y la interacción método de aporreo por porcentaje de humedad al desgrane; lo cual evidencia que influyen en la variable de respuesta vigor. Debido a esta situación se procedió a realizar una prueba de separación de medias por medio del método DGC (Di

Rienzo, Guzmán y Casanoves) para los factores fecha de lectura del vigor y la interacción método de aporreo por humedad de desgrane.

En el cuadro 10 se presenta la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura del porcentaje de vigor.

Cuadro 10. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura del porcentaje de vigor.

Fecha	Medias % vigor	*
1 (15 días de almacenaje)	91.41	A
2 (30 días de almacenaje)	90.72	B
3 (45 días de almacenaje)	89.65	C
4 (60 días de almacenaje)	87.39	D
5 (75 días de almacenaje)	86.04	E
6 (90 días de almacenaje)	84.18	F
7 (105 días de almacenaje)	82.64	G
8 (120 días de almacenaje)	80.24	H

*= Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) PCALT=0.4412

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 10, de la prueba de separación de medias por medio del método DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) sobre la fecha de lectura, se obtiene un mayor porcentaje de vigor de 91.41% en la semilla de frijol en la primer lectura, realizada en los primeros quince días, con relación a la última lectura a los 120 días, donde el vigor disminuye 11.17% en comparación con la primer lectura, dando como resultado un 80.24% de germinación. Podemos determinar que el período de almacenaje es inversamente proporcional al deterioro del vigor de la semilla de frijol, ya que mientras mayor sea el período de tiempo de almacenaje de la semilla, menor será el vigor al establecerse en campo definitivo.

En el cuadro 11 se presenta la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad, al momento del desgrane, para determinar la influencia en el vigor de la semilla de frijol.

Cuadro 11. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para la interacción método de aporreo por contenido de humedad, al momento del desgrane, para determinar la influencia en el vigor de la semilla de frijol.

Aporreo	Humedad	Medias % vigor	*
Desgrane manual	13	94.47	A
Desgrane manual	14	94.47	A
Desgrane manual	15	94.41	A
Desgrane manual	16	94.34	A
Desgrane manual	18	94.19	A
Aporreo en tapesco	15	94.03	A
Aporreo en tapesco	14	93.56	A
Aporreo en tapesco	13	93.38	A
Aporreo en tapesco	16	92.34	B
Aporreo en tapesco	18	89.16	C
Aporreo sobre plástico en tierra	15	89.03	C
Aporreo sobre plástico en tierra	14	88.88	C
Aporreo en patio de concreto	15	87.19	D
Aporreo sobre plástico en tierra	16	85.97	E
Aporreo en patio de concreto	14	85.75	E
Aporreo sobre plástico en tierra	13	84.56	F
Aporreo en patio de concreto	13	83.41	G
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	15	83.41	G
Aporreo en patio de concreto	18	82.19	H
Desgrane mecanizado con desgranadora	15	81.97	H
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	14	81.28	I
Aporreo sobre plástico en tierra	18	81.13	I
Aporreo en patio de concreto	16	81.00	I
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	18	80.97	I
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	16	80.91	I
Desgrane mecanizado con desgranadora	14	80.88	I
Desgrane con tractor por pisoteo de neumático	13	80.84	I
Desgrane mecanizado con desgranadora	16	80.81	I
Desgrane mecanizado con desgranadora	13	80.81	I
Desgrane mecanizado con desgranadora	18	80.69	I

*=Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) PCALT=0.9103

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 11, de la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves), la

combinación o interacción de factores que producen un mayor porcentaje de vigor (94.47% a 94.19%) son los factores combinados de métodos de aporreo manual, por porcentaje de humedad de 13% al 18%; y de igual forma el método de aporreo en tapesco y humedad de desgrane entre 13% a 15%. Analizando esta situación es el tratamiento de aporreo en tapesco y a humedades de 13% a 15% la interacción que provocó menor merma de vigor. Y la combinación de factores que influye negativamente dando un menor porcentaje de vigor, son los métodos de desgrane utilizando tractor y el mecanizado (utilizando desgranadora mecanizada) a humedades de desgrane entre 13% a 18 %.

7.4 DIAS A GERMINACIÓN

En el cuadro 12 se presenta el análisis de varianza para la variable días a germinación, donde los factores a evaluar fueron fecha, aporreo, humedad y la interacción método de aporreo por contenido de humedad en la semilla al momento del desgrane.

Cuadro 12. Análisis de varianza, para la variable días a germinación.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	
Modelo	191.00	36	5.31	63.59	<0.0001	**
Fecha	166.93	7	23.85	285.85	<0.0001	**
Aporreo	19.60	5	3.92	46.99	<0.0001	**
Humedad	2.82	4	0.71	8.46	<0.0001	**
Aporreo*humedad	1.64	20	0.08	0.98	0.4809	NS
Error	77.00	923	0.08			
Total	268.00	959				

**= Diferencia estadística altamente significativa

CV=11.55

NS= No existe diferencia estadística significativa

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 12, del análisis de varianza para la variable de respuesta en días a germinación de la semilla de frijol, es altamente significativo (al 1%) para los factores fecha de lectura en días a la germinación de la semilla de frijol, método de aporreo o desgrane y humedad de desgrane al momento de hacer el aporreo. La interacción método de aporreo o desgrane por humedad de desgrane no fue significativa estadísticamente; esto indica que el método de aporreo y

la humedad influyen en la variable de respuesta días a germinación. Debido a esta situación se procedió a realizar una prueba de separación de medias por medio del método DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para los factores fecha de lectura para los días a germinación, método de aporreo o desgrane y humedad de desgrane al momento de hacer el aporreo.

En el cuadro 13 se presenta la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura en los días a germinación.

Cuadro 13. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el factor fecha de lectura en los días a germinación.

Fecha	Medias en días	*
8 (120 días de almacenaje)	3.08	A
7 (105 días de almacenaje)	2.98	B
6 (90 días de almacenaje)	2.86	C
5 (75 días de almacenaje)	2.64	D
4 (60 días de almacenaje)	2.33	E
3 (45 días de almacenaje)	2.08	F
2 (30 días de almacenaje)	2.02	F
1 (15 días de almacenaje)	2.01	F

*= Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) PCALT=0.0757

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 13, se presentan las medias de la cantidad de días desde la siembra hasta la germinación, en relación al período de almacenaje, siendo el tratamiento de la fecha 8 realizada a la octava quincena de estar almacenada; la que necesito de 3.08 días desde la siembra a la emisión de radícula, siendo éste el que mayor cantidad de días a germinación presentó, por lo cual determinamos que mientras mayor sea el período de tiempo de almacenaje, mayor será el período de tiempo requerido por la semilla en campo para germinar, ya que la lectura de fecha 1, realizada en los primeros quince días en el proceso de germinación de la semilla, dió menor tiempo de germinación (2.01 días) en la media general. El período de tiempo de almacenaje de la semilla de frijol es inversamente proporcional al período de tiempo de germinación de la semilla en campo definitivo.

En el cuadro 14 se presenta la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para analizar la influencia del factor método de aporreo en el tiempo de germinación.

Cuadro 14. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para analizar la influencia del factor método de aporreo en el tiempo de germinación.

Aporreo	Medias en días	*
Desgrane mecanizado	2.70	A
Desgrane con tractor	2.62	B
Aporreo en patio con concreto	2.54	C
Aporreo sobre plástico en tierra	2.47	D
Aporreo en tapesco	2.42	D
Desgrane manual	2.26	E

*= Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) PCALT=0.0658

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 14, de la prueba de separación de medias por medio del método DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para el método de aporreo sobre el período de tiempo a germinación, se muestra que el desgrane mecanizado fue el método de aporreo que alargó en mayor parte el período de germinación de la semilla, presentando una media de 2.7 días, mientras que el menor tiempo de 2.26 días lo presentó el método de aporreo manual, seguido del método de aporreo en tapesco con 2.42 días a germinación, siendo este método el que reduce de mejor forma el tiempo de germinación de la semilla de frijol.

En el cuadro 15 se presenta la prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para analizar la influencia del factor humedad al momento de aporreo en el tiempo en días que se lleva para germinar la semilla de frijol.

Cuadro 15. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para analizar la influencia del factor humedad al momento de aporreo en el tiempo en días que se lleva para germinar la semilla de frijol.

Humedad	Medias en días	*
18%	2.58	A
16%	2.54	A
13%	2.49	B
14%	2.46	B
15%	2.43	B

*= Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) PCALT=0.0600

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 15, de la prueba de separación de medias por medio del método DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) sobre la influencia del porcentaje de humedad en relación a los días a germinación, se muestra que al 18% de humedad se tiene una media en días a germinación de 2.58, siendo este el período más largo de germinación, mientras que al 15% de humedad, el período de germinación se redujo a una media de 2.43 días, por lo que se determinó que el incremento en el porcentaje de humedad es directamente proporcional al período de tiempo que la semilla de frijol requiere para germinar, ya que mientras mayor sea el porcentaje de humedad, mayor tiempo de días requerirá la semilla de frijol para germinar.

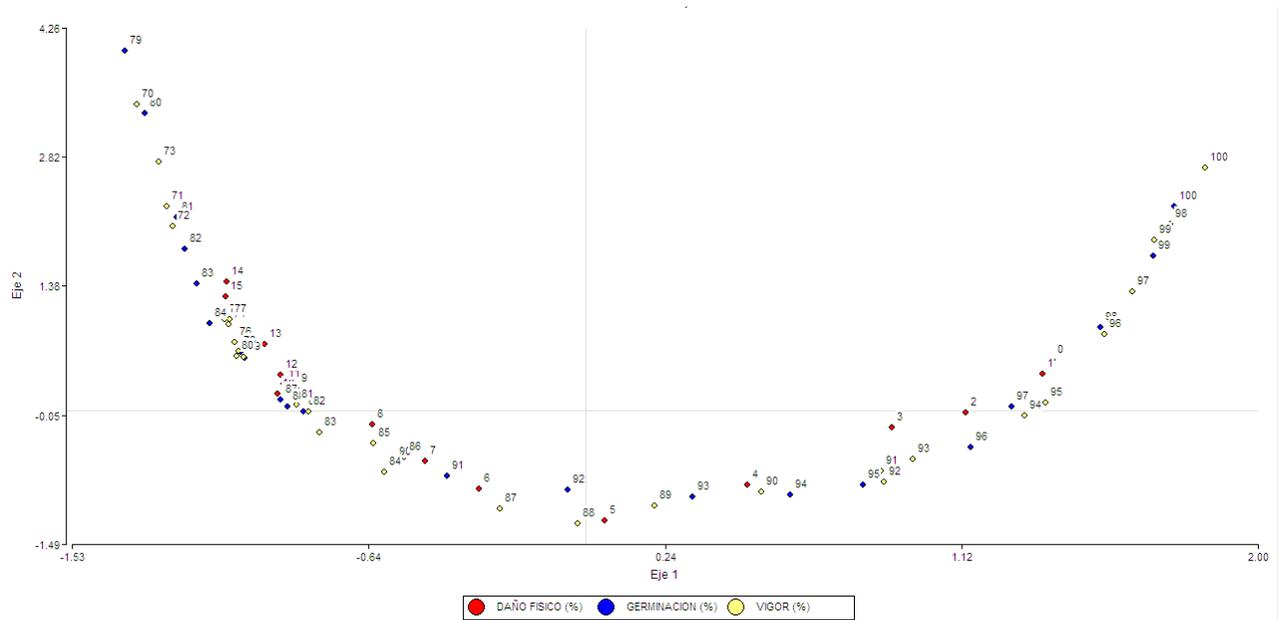


Figura 3. Análisis de correspondencia del análisis multivariado entre las variables daño físico, germinación y vigor.

De acuerdo a los resultados expresados en la gráfica 3, que muestra el análisis de correspondencia del análisis multivariado entre las variables porcentaje de daño físico, porcentaje de germinación y porcentaje de vigor, presenta la interrelación que existe entre los tres factores involucrados en este análisis, y se puede observar claramente que al desgranar la semilla de frijol y provocarle mayor daño físico, se reduce el porcentaje de germinación y porcentaje de vigor en la semilla de frijol.

VIII. CONCLUSIONES

- ✓ En relación al daño mecánico que sufre la semilla de frijol, el mejor resultado lo presenta el aporreo en tapesco a un 15% de humedad en la semilla, siendo este 2% de daño mecánico, media de germinación del 96.44%, 94.03% de vigor y período de germinación de 2.42 días después de la siembra, mientras que el resultado más bajo lo presentó el desgrane mecanizado al 18% de humedad, siendo este 14% de daño mecánico, media de germinación de 85.06%, 80.69% de vigor y período de germinación de 2.7 días después de la siembra. A mayor daño mecánico, el porcentaje de germinación y el porcentaje de vigor son menores.
- ✓ En relación al deterioro fisiológico que sufre la semilla de frijol, los mejores resultados por método de desgranado los presentó el desgrane en tapesco, con una media de 2.42 días a germinación posterior a la siembra, mientras que el resultado menor lo presentó el desgrane mecanizado, con 2.7 días a germinación posterior a la siembra.
- ✓ Con relación a la germinación, el mejor resultado lo presentó al 15% de humedad, con una media de 2.43 días a germinación después de la siembra, mientras el resultado menor se presentó al 18% de humedad, con una media de 2.58 días a germinación después de la siembra.
- ✓ En relación al periodo de germinación, el mejor resultado lo presentó la muestra realizada en la fecha 1, con 15 días de almacenaje, ya que manifestó una media de germinación de 95.31%, un 91.41% de vigor y un período de germinación de 2.01 días después de la siembra; mientras que el resultado más bajo lo tuvo la muestra realizada en la fecha 8, con 120 días de almacenaje, con una media de germinación de 87%, un 80.24% de vigor y un período de germinación de 3.08 días después de la siembra.

IX. RECOMENDACIONES

- ✓ Para que el daño mecánico y deterioro fisiológico provocado a la semilla de frijol sea mínimo (2%), se recomienda desgranar utilizando tapesco, a humedad de 15% en la semilla.
- ✓ Replicar este tipo de investigación con la variedad de semilla de frijol que se adecue a la zona donde se desenvuelva el productor.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basu, R. N. (1994). Seed viability. p. 10-12. *In*: Basra, A. S. (ed). Seed Quality: Basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press: An imprint of the Haworth Press, Inc. New York, USA.
- Bilanski, W. K. and Lal, R. (1965). The behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. *Transactions of the ASAE*. pp. 411- 416.
- Di Rienzo, J.A.; Guzmán A.W.; Casanoves F. (2002). A Multiple Comparisons Method based on the Distribution of the Root Node Distance of a Binary Tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environment Statistics*, 7(2): 1-14.
- Fernández, F.; Gepts, P. y López, M. (1995). Morfología de la planta de frijol. *In* M. López F. Fernández y A. Van Schoohoven eds. Frijol: Investigación y promoción.
- Garay, A., Aguirre, R., Guillermo, G., Burbano, E. (1992). Tecnologías poscosecha para pequeñas empresas de semillas: Demostración con frijol. Documento de Trabajo No. 115. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) 1992. 58 p.
- García, A. y Lasa, J. (1991). Ensayo de vigor de nacencia. Estación Experimental de Eula Dei, Zaragoza.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, GT). 1,997. Nuevo enfoque técnico funcional. Barcenas Villa Nueva, GT. 12 p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas) (2011). Guía del cultivo del frijol. Guatemala.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional) (1980) <http://www.ign.gob.gt/>
- INE, FAO, MAGA (2004), Instituto Nacional de Estadística IV Censo Nacional Agropecuario.
- INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 1999. Datos del departamento de Chimaltenango. s. p.
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) (2000) <http://www.insivumeh.gob.gt/>
- ISTA (International Seed Testing Association) (2004) <http://www.seedtest.org>
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación), E.U. (Unión Europea) (2013), El Cultivo del Frijol. Guatemala. 79 p.
- Morán, J. (1969). Morfología de la planta de frijol, garbanzo y pallar. Lima, Perú, 15 p.

Osami, T. 2000. Mejoramiento genético en solanáceas: Informe técnico anual. Guatemala, ICTA. 105 p.

Quemé, J. (2002). Sistematización de una prueba de hipótesis, diseños completamente al azar, bloques completos al azar y prueba de medias. CENGICAÑA, Guatemala.