



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

---

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

## DAÑO MECÁNICO EN LA SEMILLA DE FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) DURANTE EL ACONDICIONAMIENTO

ROSA ORALIA HERNÁNDEZ PÉREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2014

La presente tesis titulada: **Daño mecánico en la semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) durante el acondicionamiento**, realizada por la alumna: **Rosa Oralia Hernández Pérez**, bajo la dirección del consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

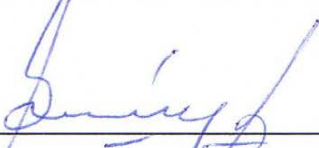
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJERO:

  
\_\_\_\_\_

DR. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_

DR. GABINO GARCÍA DE LOS SANTOS

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_

M.C. ADRIÁN HERNÁNDEZ LIVERA

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_

DRA. MARÍA TERESA COLINAS LEÓN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2014

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por haberme otorgado el apoyo económico para realizar mis estudios en maestría.

Al **Colegio de Postgraduados** por permitirme desarrollarme en el ámbito académico.

Al **Dr. José Apolinar Mejía Contreras** por su paciencia y tiempo dedicado a la realización del presente trabajo, además del invaluable apoyo durante la realización de mis estudios.

Al **Mc. Adrián Hernández Livera** por su apoyo durante la realización de mis estudios y sus valiosas observaciones en la realización de este trabajo.

Al **Dr. Gabino García de los Santos** por su asesoría, enseñanzas y sugerencias para el desarrollo de este trabajo.

A la **Dra. María Teresa Colinas León** por su asesoría y apoyo durante el desarrollo de la presente investigación.

A todos los profesores que de alguna manera han contribuido en mi formación académica.

## DEDICATORIA

*En especial a mi mamá **María del Rosario Pérez García** por ser la inspiración para ser día a día una mejor persona. Por tu ejemplo, valentía, dedicación y valores que nos has inculcado y que hacen de mí y de mis hermanos personas de bien.*

*A mi papá Estanislao Hernández Moreno (†), por darme la vida.*

*A mis hermanos Francisco, Rosa Elia, Antonio, María Elena, José Luis Miguel y María Paulita.*

*Gracias por ser mi maravillosa familia.*

*A Lázaro Felipe Alaníz Méndez por su apoyo incondicional y momentos compartidos.*

*A mis amigos y compañeros del Colegio de Postgraduados: Marcelo Martínez Muñoz, Rosario Ramírez y Antonio.*

*A todos mis amigos y compañeros que sin mencionarlos me brindaron su amistad e hicieron de mi estancia en el Colegio de Postgraduados una experiencia inolvidable.*

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE CUADROS DEL ANEXO.....	x
RESUMEN.....	xi
SUMMARY .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos .....	4
1.1.1 Objetivo General .....	4
1.1.2 Objetivos Particulares .....	4
1.2. Hipótesis .....	4
II. REVISION DE LITERATURA .....	5
2.1. Importancia del frijol.....	5
2.2. Origen del frijol.....	5
2.3. Situación mundial .....	6
2.3.1. Producción .....	6
2.3.2. Superficie cultivada.....	7
2.3.3. Rendimiento.....	8
2.4. Situación nacional.....	8
2.4.1. Producción .....	8
2.4.2. Superficie sembrada y cosechada.....	9
2.4.3. Rendimiento.....	9
2.5. Producción de semilla a nivel mundial y nacional.....	10
2.6. Calidad de las semillas .....	11
2.6.1. Calidad física .....	12
2.6.2. Calidad fisiológica .....	12
2.7. Factores que afectan la calidad física y fisiológica de la semilla .....	13
2.7.1. Oportunidad de cosecha.....	13
2.7.2. Daño en semillas .....	14

2.8.	Factores que determinan el daño mecánico .....	15
2.8.1	Genotipo.....	15
2.8.2	Contenido de humedad .....	16
2.8.3	Cosecha.....	17
2.8.4	Trilla .....	18
2.8.5	Acondicionamiento.....	20
2.8.6	Transporte.....	23
2.8.7	Almacenamiento .....	23
2.9.	Manifestación del daño físico en semillas .....	24
2.10.	Métodos para evaluar el daño físico.....	25
2.11.	Prácticas para reducir el daño físico en el acondicionamiento de semillas	26
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.1.	El material genético .....	27
3.2.	Producción de semillas.....	27
3.2.1.	Conducción del lote de producción en campo.....	27
3.2.1.1	Preparación del terreno .....	27
3.2.1.2	Tamaño de parcela .....	28
3.2.1.3	Fertilización al suelo .....	28
3.2.1.4	Siembra.....	28
3.2.1.5	Riego.....	28
3.2.1.6	Fertilización foliar .....	29
3.2.1.7	Control de malezas .....	29
3.2.1.8	Control de plagas.....	29
3.2.1.9	Cosecha.....	29
3.2.1.10	Trilla.....	30
3.3.	Planta de beneficio de semillas.....	30
3.3.1.	Beneficio .....	30
3.3.2.	Muestreo .....	31
3.4.	Evaluación de la calidad física y fisiológica en el laboratorio.....	32
3.4.1.	Calidad física .....	32

3.4.2. Calidad fisiológica .....	34
3.5. Evaluación de la calidad fisiológica en microtúnel .....	34
3.6. Diseño experimental .....	36
3.7. Análisis estadístico .....	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. Análisis de la calidad física y fisiológica en laboratorio.....	37
4.1.1. Análisis de pureza.....	37
4.1.2. Análisis simple .....	39
4.1.3. Análisis Factorial.....	40
4.1.3.1. Daño mecánico.....	40
4.1.3.2. Germinación .....	55
4.2. Análisis de Calidad fisiológica en microtúnel .....	61
4.2.1. Análisis simple .....	61
4.2.2. Análisis factorial .....	62
4.2.2.1 Índice de velocidad de emergencia.....	62
4.2.2.2 Altura de plántula.....	66
4.2.2.3 Peso seco de plántula.....	68
4.3. Análisis multivariado .....	73
V. DISCUSIÓN GENERAL .....	79
VI. CONCLUSIONES.....	82
VII. BIBLIOGRAFIA.....	84
VIII. ANEXO .....	94

## LISTA DE CUADROS

1.	Rendimiento de los principales países de acuerdo al rendimiento promedio del periodo 2005-2011.....	8
2.	Producción, superficie y rendimiento de frijol a nivel nacional durante el periodo de 2005-2012.....	9
3.	Países productores de semilla, durante los años 2005-2011.....	10
4.	Cuadros medios y significancia estadística para las variables de calidad fisiológica de tres variedades de frijol. ....	40
5.	Cuadros medios y significancia estadística de las variables daño mecánico y germinación. ....	41
6.	Promedio de la variable daño mecánico (% de semilla dañada). ....	42
7.	Porcentaje de germinación para los factores y niveles que fueron significativos. ....	56
8.	Cuadros medios y significancia estadística para las variables de calidad fisiológica de tres variedades de frijol. ....	61
9.	Cuadros medios y significancia estadística para las variables de calidad física. ....	63
10.	Promedios de la variable índice de velocidad de emergencia en los factores y niveles que fueron significativos.....	63
11.	Promedios de la variable altura de plántula para los factores y niveles que fueron significativos. ....	66
12.	Promedio de la variable peso seco (g/plántula) para los factores y niveles que fueron significativos. ....	69
13.	Análisis multivariado del daño mecánico ocasionado durante el beneficio de tres variedades de frijol.....	73
14.	Total de la varianza explicada para cada componente principal en las características fisiológicas de tres variedades de frijol.....	74
15.	Valor de correlación de las variables originales en los primeros dos componentes principales (CP) del análisis para las tres variedades de frijol. ....	75



## LISTA DE FIGURAS

1.	Principales países productores de frijol a nivel mundial durante el periodo de 2005-2011 (FAOSTAT, 2011).....	7
2.	Principales países con superficie en hectáreas, promedio del periodo del año 2005 al 2011 (FAOSTAT, 2011).....	7
3.	Estados de la República Mexicana que presentaron los más altos rendimientos durante 2005-2012 (SIAP – SAGARPA, 2013). ....	10
4.	Beneficio de las semillas con matacaídas (a) y sin matacaídas (b). ....	31
5.	Porcentaje de daño mecánico en tres variedades de frijol, trilladas con dos contenidos de humedad.....	44
6.	Porcentaje de daño mecánico en tres variedades de frijol beneficiadas con y sin matacaídas. ....	45
7.	Porcentaje de daño mecánico en tres variedades de frijol, muestreadas en cinco puntos durante el beneficio.....	46
8.	Porcentaje de daño mecánico en semillas a dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas. ....	47
9.	Porcentaje de daño mecánico en semillas con dos contenidos de humedad en cinco puntos de muestreo. ....	48
10.	Porcentaje de daño mecánico en semillas beneficiadas con y sin matacaídas en cinco puntos de muestreo. ....	49
11.	Porcentaje de daño mecánico en tres variedades de frijol a dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.....	50
12.	Porcentaje de daño mecánico en semillas de tres variedades de frijol con dos contenidos de humedad, en cinco puntos de muestreo. ....	51
13.	Porcentaje de daño mecánico en semillas beneficiadas con dos contenidos de humedad y con y sin matacaídas en cinco puntos de muestreo. ....	52
14.	Comportamiento del daño mecánico en tres variedades de frijol respecto a la interacción de los cuatro factores.....	54
15.	Porcentaje de germinación de tres variedades de frijol, trilladas en dos contenidos de humedad.....	57
16.	Porcentaje de germinación de tres variedades de frijol, beneficiadas con y sin matacaídas. ....	58
17.	Porcentaje de germinación de tres variedades de frijol en cinco puntos de muestreo.....	59
18.	Porcentaje de germinación en semillas de frijol beneficiadas con y sin matacaídas en cinco puntos de muestreo.....	60
19.	Porcentaje de germinación de tres variedades de frijol, trilladas a dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.....	60

20.	Índice de velocidad de emergencia en tres variedades de frijol, trilladas bajo dos contenidos de humedad.....	65
21.	Índice de velocidad de emergencia en tres variedades de frijol, trilladas bajo dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.....	65
22.	Altura de plántula de tres variedades de frijol, beneficiadas con y sin matacaídas. ....	67
23.	Altura de plántula de tres variedades de frijol, trilladas bajo dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.....	68
24.	Peso seco de plántula de tres variedades de frijol, trilladas con dos contenidos de humedad.....	70
25.	Peso seco de plántulas de tres variedades de frijol, beneficiadas con y sin matacaídas. ....	71
26.	Peso seco de plántula cuando la semilla fue trillada bajo dos contenidos de humedad y beneficiada con y sin matacaídas.....	72
27.	Peso seco de plántula de tres variedades de frijol, trilladas con dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.....	73
28.	Diagrama de dispersión de tres variedades de frijol, con base en los componentes principales 1 y 2.....	76
29.	Diagrama de dispersión de dos contenidos de humedad, con base en los componentes principales 1 y 2.....	77
30.	Diagrama de dispersión de los matacaídas (con y sin) utilizados durante el beneficio de las semillas. ....	77
31.	Diagrama de dispersión de cinco puntos de muestreo durante el beneficio de semillas.....	78

## LISTA DE CUADROS DEL ANEXO

1A. Tratamientos de la combinación de los factores de estudio.	94
2A. Análisis de pureza en semillas con 14 % de humedad y beneficiadas con matacaídas. ....	95
3A. Análisis de pureza en semillas con 20 % de humedad y beneficiadas con matacaídas. ....	95
4A. Análisis de pureza en semillas con 14 % de humedad y beneficiadas sin matacaídas. ....	95
5A. Análisis de pureza en semillas con 20 % de humedad y beneficiadas sin matacaídas. ....	95
6A. Valores promedio de las variables indicadoras de calidad fisiológica (Daño mecánico y Germinación).....	96
7A. Eficiencia de las infraestructuras utilizadas (elevadores, matacaídas, MAZ y MG) durante el beneficio de las tres variedades de frijol. ....	97
8A. Valores promedio de las variables indicadoras de calidad fisiológica en la prueba de emergencia en microtúnel. ....	98

# **DAÑO MECÁNICO EN LA SEMILLA DE FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) DURANTE EL ACONDICIONAMIENTO**

**Rosa Oralia Hernández Pérez, MC.  
Colegio de Postgraduados, 2014.**

## **RESUMEN**

Para determinar el efecto que se ocasiona en la calidad física y fisiológica de la semilla se beneficiaron tres variedades de frijol: Canario 107, Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro con un contenido de humedad de 14 y 20 % con y sin matacaídas durante su beneficio. Sin matacaídas, la semilla realizó un recorrido de aproximadamente 10 m en tubo con una pendiente de 45°, con matacaídas se instalaron dos tubos a los 3.3 y 6.6 m para formar una base de frenado. Ambas condiciones se localizaron entre la máquina de aire y zarandas (MAZ) y la mesa de gravedad (MG). La semilla siguió el siguiente flujo durante el beneficio, pasó por un elevador para llegar a la máquina de aire y zarandas; después entró a un elevador vertical que se conecta con tubos metálicos que forman los matacaídas para reducir la velocidad a la cual viaja la semilla y la llevan a la mesa de gravedad; después la semilla pasó por un elevador que conecta con la tratadora. Se seleccionaron 5 puntos de muestreo (Pm): Pm 1, primera tolva; Pm 2, salida de la MAZ (máquina de aire y zarandas); Pm 3, segunda tolva que se encuentra antes de entrar a la MG (Mesa de gravedad); Pm 4, después de la MG y Pm 5, después de la tratadora. Se utilizó una muestra compuesta de 700 g para determinar la calidad física y fisiológica de la semilla en términos de daño mecánico, germinación, índice de velocidad de emergencia, peso seco y altura de plántula. Se realizaron dos pruebas, una bajo condiciones de laboratorio y otra bajo condiciones de microtúnel.

Los resultados indican que para las variables evaluadas, el factor variedades y matacaídas (con/sin) empleados para el procesamiento de los lotes de semilla juegan un papel determinante en la calidad fisiológica de la semilla. El factor contenido de humedad solo presentó efecto significativo para las variables

germinación y daño mecánico. Con un contenido de humedad de 14% se favorece el daño mecánico en la semilla, mientras que, un 20 % permite mantener una buena germinación durante el flujo de la semilla en la planta de beneficio. Con el uso de dos matacaídas se obtiene el mayor índice de velocidad de emergencia y el menor daño mecánico. De acuerdo a la secuencia seguida para el procesamiento de las variedades, tanto la máquina de aire y zarandas como la mesa de gravedad mejoran la germinación y disminuyen el daño mecánico en la semilla de frijol. La germinación de las semillas de frijol disminuyó 2.3 % cuando es procesada sin matacaídas. Semillas de la variedad canario 107, con un contenido de humedad de 14 % y beneficiada sin matacaídas presentaron el mayor porcentaje de daño mecánico.

# **MECHANICAL DAMAGE SEED bean (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) DURING THE PACKAGING**

**Rosa Oralia Hernández Pérez, MSc.  
Colegio de Postgraduados, 2014.**

## **SUMMARY**

To determine the effect on physical and physiological seed quality three bean varieties were benefited: “Canario 107”, “Tipo Flor de Mayo” and “Negro Querétaro” at 14 and 20 % humidity content, with and without falling extinguisher during their benefit. The seed ran approximately 10 m in a tube with a 45° slope; with falling extinguisher were installed two tubes at 3.3 and 6.6 to form a break base. Both conditions were localized between air-screen cleaner (MAZ) and gravity separator (GM). The seed followed flux during the benefit was: passed through an elevator to reach the air-screen cleaner; after that passed through a vertical elevator connected with metaled tubes that form the falling extinguisher to reduce the seed speed before reached the gravity separator; after that the seed passed through an elevator connected with the seed treater. Five sample points (SP) were selected: SP 1, first container; SP 2, air-screen cleaner exit; SP 3, second container before gravity separator entry (MG); SP 4, after gravity separator and SP 5, after the treated. A 700 gr composite sample was used to determine the physical and physiological seed quality based on mechanical damage, germination, emergency speed index, seedling dry weight and height. Two assays were conducted, under laboratory and microtunnel conditions, respectively.

The obtained results showed that for the evaluated variables, and falling extinguisher (with /without) used in the benefit of the seed lots placed an important role to determine seed physiological quality. The humidity contain only had significant effect for germination and mechanical damage. At 14 % humidity content favored the seed mechanical damage percentage, while at 20 % allowed to keep a good germination

during the seed flux in the benefit plant. Using two falling extinguisher it was obtained the higher emergency speed index and the lower mechanical damage. According to the seed followed sequence for the varieties seed process, the air-screen cleaner as well as the gravity separator improved bean seed germination and lowered the mechanical damage. The bean seed germination decreased 2.3 % when is processed without falling extinguisher. Canario 107 seed, benefit seed at 14 % humidity content and benefic without falling extinguisher had the higher mechanical damage percentage.

## I. INTRODUCCIÓN

México es reconocido como el centro de origen y domesticación más importante de varias especies del género *Phaseolus*, entre las cuales, la que más destaca, por su valor comercial, es el frijol común *Phaseolus vulgaris* L. (Sinhg *et al.*, 1991). La producción mundial de frijol alcanzó la cifra promedio anual de 23.06 millones de toneladas en el 2011. Los principales países productores de frijol en el mundo son: India (16 %), Brasil con (16 %), Myanmar (14 %), China (7 %), EU (6 %) (FAOSTAT, 2011). México aporta el 5 % de la producción mundial, siendo los principales estados productores de frijol: Zacatecas, Sinaloa, Durango, Nayarit y Chihuahua. A nivel nacional la superficie sembrada con frijol registro un promedio anual de 1.7 millones de hectáreas, mientras que la superficie cosechada presentó un promedio de 1.4 millones de hectáreas durante el periodo 2005-2012 (SIAP – SAGARPA, 2013).

En México se sembraron en 2012, alrededor de 62,594 hectáreas para la obtención de semilla para dieciocho cultivos. Del total, 33.8 % se destinó a la obtención de semilla de maíz, 19.5 % para trigo, 14.4 % para avena, 11.9 % para cebada, 7.8 % para frijol, 5.3 % para papa, 4.7 % para soya y 2.6 % para otros cultivos. El volumen de semilla obtenido en 2012 fue de 194,447 toneladas, de las cuales 31.3 % correspondió a semilla de trigo, 17.7 % a cebada, 17.5 % a papa, 16.0 % a maíz, 11.4 % a avena, 2.7 % a frijol, 2.0 % a soya y el 1.4 % restante a otros cultivos (SNICS, 2013).

Para el año 2010, alrededor del 4.6 % de la producción de frijol en México se destinó a la producción de semilla, lo que representa aproximadamente 56 mil toneladas de semillas producidas en ese año.

Varios factores e insumos intervienen en la producción de este cultivo, siendo la semilla el más importante, por ser la base del proceso de producción. Sin embargo, su calidad física y, consecuentemente, la calidad fisiológica es afectada durante el



manejo postcosecha, que se inicia desde el momento de la cosecha y continua con la trilla, transporte, acondicionamiento, almacenamiento y siembra, ya que las semillas de frijol son particularmente susceptibles al daño físico.

Rossi *et al.* (2006), mencionan que la trilla es la principal causa de daño mecánico, aunque este puede ocurrir a lo largo de todo el proceso, desde la cosecha hasta el almacenamiento y beneficio de semilla.

El contenido de humedad de las semillas es el factor más importante en la intensidad del daño mecánico sufrido; valores bajos de humedad de la semilla aumentan los daños por fisura, mientras que cosechas con altos valores de humedad provocan daño por “amasamiento”. También, el lugar del impacto resulta de gran importancia, ya que si este ocurre en la región del eje embrionario, el daño será mayor que si ocurre en la región distal del mismo. En la cosecha se debe regular perfectamente la cosechadora para disminuir al mínimo el daño mecánico (Rossi *et al.*, 2006).

La calidad de la semilla, en términos de germinación y vigor, se establece durante el periodo de desarrollo del cultivo; sus valores máximos se alcanzan en la etapa de madurez fisiológica, luego de la cual se desencadena un rápido proceso de deterioro (Filho y McDonald, 1998). En este contexto, Dornbos (1995) sostiene que dicho deterioro se hace más evidente en los valores de vigor que en los de germinación.

Es de destacar que el efecto ocasionado por el daño mecánico tiene que ver con su ubicación y superficie abarcada en la semilla. Aquellos impactos que se producen sobre el eje embrionario afectan la germinación puesto que allí se encuentran las principales estructuras de crecimiento, como la plúmula y el sistema radicular, que darán origen a la futura plántula (Neto *et al.*, 1998).

Con la finalidad de minimizar los problemas a los que se enfrenta la semilla de frijol durante la cosecha y acondicionamiento, es necesario identificar las etapas en

donde se causan la mayor pérdida por daño mecánico. Por lo anterior y considerando la importancia que tiene el cultivo de frijol en México, es esencial conocer el efecto del manejo sobre la calidad física y fisiológica de la semilla de frijol durante las fases de cosecha y acondicionamiento, planteándose en el presente estudio los siguientes objetivos e hipótesis:

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General**

- a) Determinar el efecto del contenido de humedad sobre el daño mecánico ocasionado en tres variedades de frijol durante el acondicionamiento.

### **1.1.2 Objetivos Particulares**

- a) Evaluar la relación del daño mecánico de la semilla de frijol con la calidad fisiológica durante el acondicionamiento.
- b) Identificar los principales factores que ocasionan el mayor daño mecánico a la semilla de frijol durante el acondicionamiento.

## **1.2. Hipótesis**

- a) El daño mecánico en las semillas es acumulativo, mientras más avance en su recorrido por la planta de beneficio, el porcentaje de germinación y vigor disminuyen.
- b) Semillas de frijol beneficiadas con un bajo contenido de humedad y sin matacaídas durante el acondicionamiento, presentarán bajo porcentaje de germinación y menor índice de velocidad de emergencia.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Importancia del frijol

El género *Phaseolus* pertenece a la familia Fabaceae, subfamilia papilionoideae, tribu Phaseoleae y subtribu Phaseolinae (Engleman, 1991). En América se reconocen dos centros de domesticación: Mesoamérica, con genotipos de semilla pequeña, y los Andes, con genotipos caracterizados por su semilla más grande (González *et al.*, 1995). Sobresale el número de especies del género *Phaseolus* registradas como domesticadas, pues de las 45 reconocidas, nuestros antecesores americanos solo domesticaron cinco: *P. coccineus* L. o frijol ayocote para clima templado, *P. lunatus* L. o frijol lima en clima cálido seco y húmedo, *P. acutifolius* Gray o frijol tepari en clima árido o semiárido, *P. damosus* para climas semi-cálidos-húmedos y *Phaseolus vulgaris* L. para todos los tipos de climas previamente indicados (García *et al.*, 1997).

Dentro de estas especies domesticadas, el frijol común es el de mayor importancia económica ya que es cultivado en seis continentes, en su mayor parte por su grano seco o por su vaina verde (Gepts, 1994). Por su parte, Sinhg (2001), menciona que el frijol ocupa más del 85 % de la superficie sembrada de todas las especies de *Phaseolus* en el mundo.

### 2.2. Origen del frijol

Diversos estudios han señalado la zona occidental y sur de México, así como Guatemala, Honduras y la zona oriental de la cordillera de Perú como posibles centros de origen. Al respecto, Miranda (1967) utilizó los criterios de De Cantolle (1988) para determinar el centro de origen de las plantas cultivadas, y señaló que la especie *P. vulgaris* L. procede de la región occidental del área México-Guatemala, en una franja de transición ecológica situada entre los 500 y los 1800 msnm, aunque la mayor variante de especies cultivadas ocurre alrededor de los 1200 m.

Kaplan (1981), menciona que restos de las variantes silvestres de *P. vulgaris* no aparecen en ningún sitio arqueológico de México o de la región Andina, que el frijol fue domesticado en Mesoamérica y transportado de ahí a Suramérica y *P. vulgaris* domesticado se encuentra desde hace 7000 años en Mesoamérica; al respecto Kaplan y Lynch (1998) indican con base en pruebas de radiocarbono en muestras de carbón de madera asociadas a *Phaseolus* de zonas arqueológicas mexicanas y peruanas que las variantes domesticadas de frijol existen desde hace 10, 000 años.

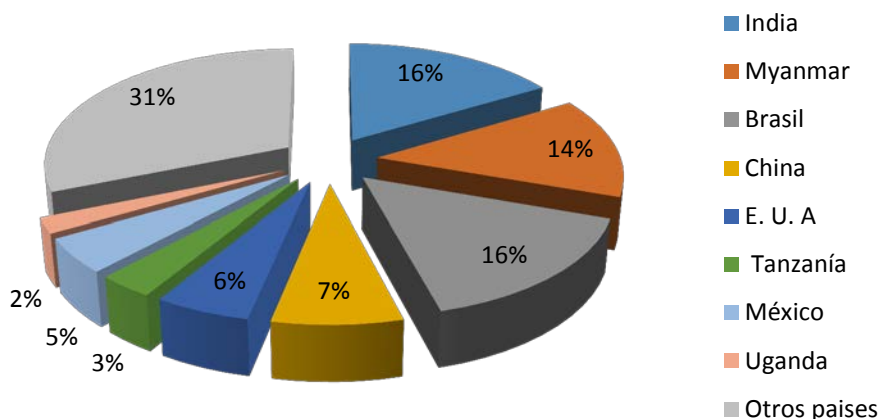
De acuerdo con Sánchez *et al.* (2001), el cultivo de frijol en México es milenario; la gran diversidad de climas, nichos ecológicos y ambientes culturales llevó durante este periodo al desarrollo de una gran riqueza de tipos de frijoles: negros, azufrados, bayos, pintos, ayocotes, espolón, ibes, combas y muchos más, los cuales generan un mercado amplio conformado por consumidores con gustos y preferencias diversas, como color y sabor de la semilla, rendimiento, adaptación a diferentes climas, resistencia a plagas, enfermedades, resistencia a sequía, etc.

## **2.3. Situación mundial**

### **2.3.1. Producción**

Durante el periodo de 2005-2011, la producción de frijol a nivel mundial registró un aumento de 4.16 millones de toneladas, de manera directa se observa la importancia que este cultivo ha adquirido (FAOSTAT, 2011).

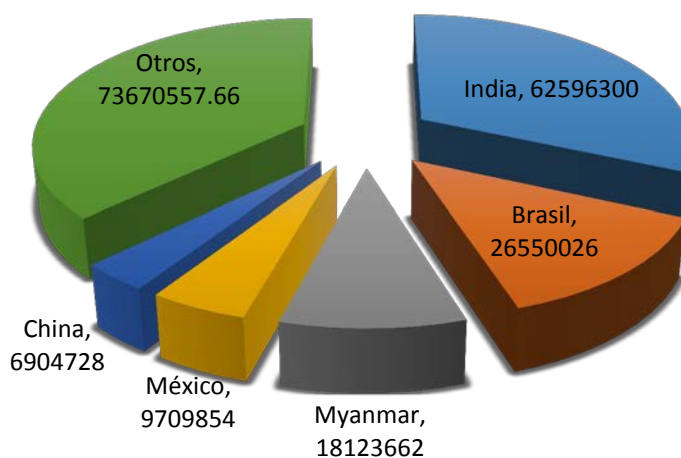
Considerando la producción acumulada de 2005-2011, los principales países productores de frijol a nivel mundial son: India, Brasil, Myanmar, China, EU, México, Tanzania y Uganda. En conjunto estos países aportaron 69 % del total de la producción a nivel mundial de dicho producto. México ocupa el sexto lugar de producción en el contexto mundial con 7,094,719 toneladas anuales promedio para el periodo 2005-2011 (Figura 1).



**Figura 1. Principales países productores de frijol a nivel mundial durante el periodo de 2005-2011 (FAOSTAT, 2011).**

### 2.3.2. Superficie cultivada

A nivel mundial durante el periodo de 2005-2011, la superficie sembrada en promedio fue de 2.8 millones de hectáreas. De acuerdo con estadísticas de la FAOSTAT (2011), en promedio desde el año 2005-2011 los países que tuvieron mayor superficie sembrada en hectáreas, fueron en orden de importancia: India, Brasil, Myanmar, México y China (Figura 2).



**Figura 2. Principales países con superficie en hectáreas, promedio del periodo del año 2005 al 2011 (FAOSTAT, 2011).**

### 2.3.3. Rendimiento

Los países que presentaron los mayores rendimientos de acuerdo a las estadísticas de FAOSTAT (2011), fueron Barbados, Irlanda, Bélgica, Libia y Países Bajos con un rendimiento que varió de 2.93 a 5.7 tonha<sup>-1</sup> (Cuadro 1), sin embargo, se puede observar que a pesar de obtener los rendimientos más altos, no son precisamente los principales productores.

**Cuadro 1. Rendimiento de los principales países de acuerdo al rendimiento promedio del periodo 2005-2011.**

País	Año							Promedio
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Barbados	5.7167	5.7077	6.3000	5.6000	5.5333	5.5500	5.5102	5.7026
Irlanda	5.1481	4.5938	4.2727	4.8125	5.3103	5.4688	5.6000	5.0295
Bélgica	3.3067	4.1039	3.0467	3.5934	3.3169	4.5000	4.4881	3.7651
Libia	3.1250	3.1250	3.1250	3.1250	3.1061	3.1429	3.5231	3.1817
Países Bajos	3.6397	1.6681	3.1818	2.4444	3.1815	3.1904	3.2494	2.9365

FAOSTAT, 2011.

## 2.4. Situación nacional

### 2.4.1. Producción

La producción de frijol ha variado en relación al periodo del 2005 al 2012, por ejemplo, en 2006 se obtuvieron 1.4 millones de toneladas, mientras que para el año 2011 solo se logró producir 568 mil toneladas. Sin embargo, para el año 2012 los datos muestran una tendencia estable (Cuadro 2).

Los principales estados productores de frijol a nivel nacional son Zacatecas, Sinaloa, Durango, Nayarit y Chihuahua. Durante los últimos ocho años el promedio de producción a nivel nacional ha oscilado en 1.02 millones de toneladas (SIAP – SAGARPA, 2013).

**Cuadro 2. Producción, superficie y rendimiento de frijol a nivel nacional durante el periodo de 2005-2012.**

Año	Producción (Toneladas)	Superficie (Ha)		Rendimiento R*+T* (Toneladas)
		Sembrada	cosechada	
2005	826,892.07	1,746,020.42	1,261,220.33	0.66
2006	1,385,783.81	1,809,679.78	1,723,219.05	0.80
2007	993,952.76	1,688,476.88	1,489,241.46	0.67
2008	1,111,087.37	1,626,021.82	1,503,237.93	0.74
2009	1,041,349.90	1,676,681.60	1,205,309.62	0.86
2010	1,156,257.44	1,887,176.77	1,630,224.84	0.71
2011	567,779.15	1,506,033.82	894,972.06	0.63
2012	1,080,856.66	1,700,513.50	1,558,991.97	0.69

SIAP – SAGARPA, 2013.

R= Riego

T= Temporal

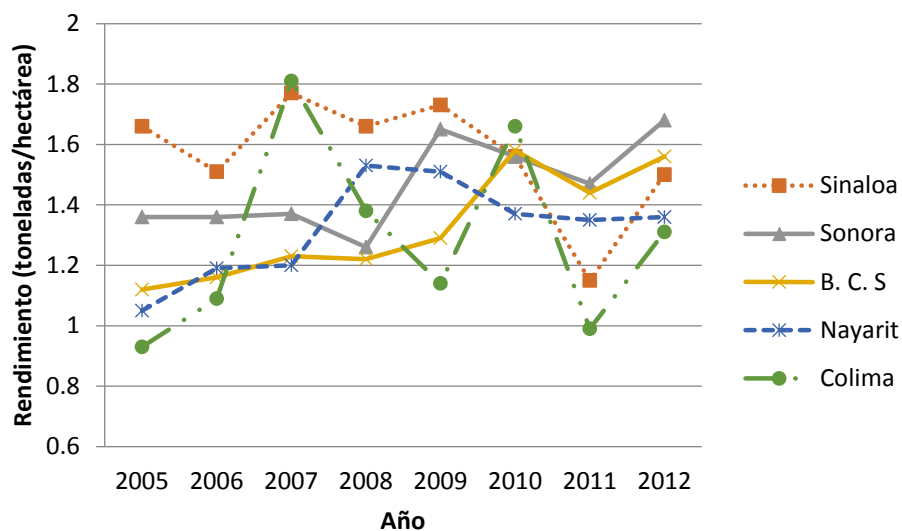
#### 2.4.2. Superficie sembrada y cosechada

A nivel nacional durante 2005-2012 la superficie sembrada con frijol fluctuó entre 1.5 y 1.9 millones, y para el año 2010 la superficie destinada a la siembra de frijol cayó considerablemente. Sin embargo, para el 2011 empezó su recuperación, sin llegar aun a los niveles observados en 2009, de 1.9 millones de hectáreas (Cuadro 2). La superficie cosechada de frijol presentó fluctuaciones de consideración que van desde 0.89 a 1.6 millones de hectáreas durante el periodo 2005-2012. Los estados que emplean más superficie para el cultivo de frijol son: Zacatecas, Durango, Chiapas, Chihuahua y San Luis Potosí (SIAP – SAGARPA, 2013).

#### 2.4.3. Rendimiento

El rendimiento para el cultivo de frijol ha variado en relación al periodo 2005 al 2012, los rendimientos logrados fluctúan de 0.63 a 0.86 toneladas (Cuadro 2). El comportamiento en los estados que presentan los más altos rendimientos de acuerdo a los años 2005-2012, es homogéneo oscilando entre 0.93 y 1.81 toneladas (Figura 3).





**Figura 3. Estados de la República Mexicana que presentaron los más altos rendimientos durante 2005-2012 (SIAP – SAGARPA, 2013).**

## 2.5. Producción de semilla a nivel mundial y nacional

De acuerdo a las estadísticas de FAOSTAT (2011), los principales países productores de semilla de frijol son India y Brasil. México se encuentra en el quinto lugar con un promedio general para el periodo de 2005-2011 de 50,164.65 toneladas (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Países productores de semilla, durante los años 2005-2011.**

País	Año						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>India</b>	256479.00	300000.00	240000.00	180000.00	330000.00	330000.00	273000.00
<b>Brasil</b>	169738.80	159036.00	158700.72	171106.95	146221.52	156317.05	127837.92
<b>Myanmar</b>	95840.00	101480.00	109040.00	108800.00	109200.00	109200.00	109200.00
<b>China</b>	76381.92	79271.20	80332.32	72331.20	72891.28	73128.08	77680.00
<b>México</b>	54290.40	50654.31	48930.06	50300.46	56615.31	45181.02	45181.02
<b>Otros</b>	504962.87	536408.30	517553.81	546202.02	580831.82	563605.23	583699.43
<b>Total</b>	1157692.99	1226849.81	1154556.91	1128740.63	1295759.93	1277431.38	1216598.37

FAOSTAT, 2011.

De acuerdo con el plan rector publicado en 2008, alrededor de 5 % del frijol producido en México se utiliza como semilla. En dicho documento se indica que para

el periodo 2000-2003, solo el 24.05 % de la superficie fue sembrada con semilla mejorada. Por su parte (SNICS, 2009), reporta una producción para la semilla de frijol en categoría calificada en 2009 de 3446 toneladas, en una superficie de 1788 hectáreas.

De acuerdo con cifras de la Secretaria de Economía, México importó en 2010 cerca de 2, 154 toneladas de frijol, con un valor de 6.5 millones de dólares. Los países proveedores de semilla a nuestro país en orden de importancia fueron: Estados Unidos (99.4 %), Chile, China, Francia y Colombia (0.1 %).

Por su parte, las exportaciones de semilla de frijol en el año 2010 alcanzaron las 184 toneladas con un valor de 211 mil dólares. Los países a los cuales se exportó la semilla fueron Estados Unidos (51.6 %) y Cuba (48.4 %).

## **2.6. Calidad de las semillas**

La calidad es un conjunto de atributos que contribuyen al establecimiento de la plántula en campo, donde la germinación, pureza y sanidad de la semilla juegan un papel importante (McDonald Jr., 1985). Según Moreno (1984) y Valdés (1988) la calidad de las semillas, está definida por cualidades o atributos genéticos, físicos, sanitarios y fisiológicos; además de otros factores como la oportunidad de cosecha, el método de trilla y la presencia o ausencia de hongos (McDonald Jr., 1985; Kelly, 1988).

Para Obrador (1982) la calidad de semillas, es un conjunto de atributos que la hacen deseable para su siembra tales como la calidad genética, fisiológica, sanitaria y física; atributos que se manifiestan en la uniformidad de la población o lote de semillas, así como el vigor y en la productividad de la planta en campo.

### **2.6.1. Calidad física**

La calidad física está asociada a la condición visible de la estructura o la apariencia física de la semilla que se interpreta como la conservación de la integridad de la cubierta, la cual puede ser alterada durante o después de la cosecha (McDonald Jr., 1985).

Copeland y McDonald (1985), mencionan que durante el acondicionamiento la semilla se limpia, clasifica y en seguida se evalúa su pureza para determinar la proporción de semilla pura, semilla de otros cultivos, semilla de malezas y materia inerte. De igual manera, Garay (1989) indica que la calidad física también involucra su peso por volumen, color, tamaño, daños por hongos e insectos, brillantez y uniformidad, entre otros.

### **2.6.2. Calidad fisiológica**

La calidad fisiológica depende básicamente de los atributos genéticos, manejo en campo y postcosecha de las semillas, que conjuntamente determinan la capacidad de germinación y emergencia. En la evaluación de la calidad fisiológica de un lote de semillas se ha utilizado ampliamente la prueba de germinación estándar; la cual, sin embargo, ha resultado inadecuada para evaluar el comportamiento potencial en campo, debido a que se realiza bajo condiciones favorables (McDonald Jr., 1985). Por otra parte, Faiguenbaun y Romero (1989) mencionan que en algunas especies, la expresión de la germinación y vigor están dadas por las características genéticas del cultivar, condiciones ambientales que prevalecieron durante el desarrollo de la semilla, y por la presencia de patógenos (Luedders y Burris, 1979).

De acuerdo con Acosta y Ospina (1979), un nivel conveniente de la calidad de las semillas para la comercialización como insumo agrícola, debe poseer alto grado de pureza varietal, estar libre de semillas de malezas y de otros cultivos, así como de

materia inerte, tener intacta su apariencia física y ser de tamaño uniforme; alta germinación (85 % mínimo); y estar libre de patógenos.

## **2.7. Factores que afectan la calidad física y fisiológica de la semilla**

### **2.7.1. Oportunidad de cosecha**

La cosecha de frijol se debe realizar cuando las vainas están maduras y de color amarillo, pero todavía no abiertas (Acosta y Ospina, 1979). La cosecha oportuna se refleja en los niveles de calidad inmediata, así como el potencial en el almacenamiento de las semillas.

La cosecha extemporánea, antes o después de que ocurra la madurez fisiológica, tiene serias repercusiones sobre la calidad de la semilla. En cosechas anticipadas, se tiene cierta proporción de semillas inmaduras y malformadas que no poseen la máxima capacidad germinativa (Bharud y Patil, 1990). En contraste, cosechas realizadas en la postmadurez fisiológica, se corre el riesgo de afectar de manera negativa la calidad fisiológica de las semillas, a medida que se atrase la cosecha (Acosta y Ospina, 1979; Chamman *et al.*, 1990).

Copeland y McDonald (1985), mencionan que cuando la cosecha se realiza en etapas muy próximas a la madurez fisiológica, la semilla presenta altos niveles de humedad, que hace a la semilla muy susceptible al magullamiento y al daño interno o latente.

Lollato (1989), menciona que la cosecha prematura de semilla de frijol, aumenta la cantidad de semillas inmaduras, arrugadas y descoloridas y cuando demora el secado pueden aumentar su temperatura o llegar a fermentarse, debido al alto contenido de humedad. Siddique *et al.* (1987), mencionan que en la práctica, las plantas se arrancan cuando han perdido todas sus hojas y las vainas están completamente secas, obteniendo baja calidad de semilla. En el mismo sentido,

Castro (1993) indica que la recolección debe realizarse en un periodo de cinco días después de madurez fisiológica para evitar reducciones en la calidad fisiológica. Por su parte, Siddique *et al.* (1987), encontraron que el arranque de plantas debe realizarse antes de la caída de las hojas, cuando las semillas tienen un contenido de humedad de aproximadamente 50 % y las plantas presentan entre 20 y 40 % de vainas secas.

### **2.7.2. Daño en semillas**

El daño en las semillas ocurre durante las operaciones de cosecha, trilla, procesamiento, transporte y siembra; este daño es acrecentado por la constitución genética, el contenido de humedad y el tipo de trilla (Neergaard, 1977).

El daño físico puede ser originado por descuidos en el manejo de las semillas durante o después de la cosecha, y puede ser externo o interno. El daño externo es visible a simple vista y se manifiesta por fisuras o quebraduras normalmente presentes en semillas con bajos contenidos de humedad. El daño interno no se detecta de manera visual y solo se hace evidente durante la germinación (McDonald Jr., 1985), a través de la fracturas en la radícula, en cotiledones o en cualquier parte del eje embrionario, que ocasionan plántulas anormales y un establecimiento precario en campo.

Las semillas de frijol y soya están particularmente expuestas a pérdida de calidad debido al daño físico, por lo que las compañías de semillas identifican los factores que contribuyen a la pérdida de la calidad física y consecuentemente mantienen programas de aseguramiento de calidad y constantemente evalúan los lotes de semilla (McDonald Jr., 1985).

## 2.8. Factores que determinan el daño mecánico

### 2.8.1 Genotipo

La semilla de frijol de colores claros pueden ser dos veces más susceptible al daño físico que los de testa oscura, debido a las diferencias en el espesor de la cubierta de la semilla y al contenido de lignina (Kannenbergh y Allard, 1964). Por su parte Dickson (1980) menciona que en leguminosas, las semillas alargadas son dañadas especialmente al momento de la cosecha (siega y trilla). Moreira y Nakagawa (1988) afirman que las semillas de mayor tamaño están expuestas a recibir mayores niveles de daño.

En el mismo sentido, Atkin (1958) y Barriga (1961) encontraron mayor tolerancia al daño en líneas de frijol con semillas de color obscuro, que las de colores claros durante la trilla mecánica.

La presencia de fisuras en la cubierta de la semilla de alubia común es más evidente con incrementos en el peso, la disminución de la densidad y la forma irregular de la semilla (Soersarsano y Copeland, 1974). Por su parte, Atkin (1958) y Bay *et al.* (1995) encontraron que dos materiales de color claro y otro oscuro, que difieren solo en la presencia del gen *p* para color de testa de la semilla, han sido seleccionados porque mejoran la resistencia al daño; además la mayor resistencia al daño la presentan aquellas líneas con semillas de testa oscura, atribuido al alto contenido de lignina en la testa y a la mayor adhesión de esta con el cotiledón, teniendo además mayor germinación que las semillas con testa clara. Al respecto, Bay *et al.* (1995) mencionan que a pesar de la importancia del desarrollo de variedades tolerantes al daño físico, no se tiene métodos prácticos para seleccionar genotipos de soya resistentes al daño.

## 2.8.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad en las semillas al momento de la cosecha es uno de los factores más importantes para aumentar la susceptibilidad de las semillas al daño mecánico (Soesarsano y Copeland, 1974).

En función del contenido de humedad, el daño se puede clasificar en dos tipos: por agrietamiento y por aplastamiento. Agrietamiento es el tipo de daño que la semilla sufre cuando su contenido de humedad es muy bajo y el impacto recibido en la superficie se distribuye a lo largo de una línea, resultante de las fuerzas en acción, prácticamente con la misma intensidad al momento de impacto; de esto resulta la rotura de los tejidos a lo largo de aquella línea. Cuando el contenido de humedad de la semilla es muy alto, el impacto se distribuye de manera muy limitada, y queda prácticamente toda su fuerza concentrada en una región relativamente pequeña, por consiguiente, con un contenido de humedad alto, los tejidos, presentan cierto grado de inmadurez, por lo que la semilla es aplastada en la región donde ocurrió el impacto (Moreira y Nakagawa, 1988).

Respecto a esto, Barriga (1961), encontró que la semilla de frijol tipo alubia sufrió daño visible considerable cuando se trilló con contenidos de humedad de 12.3 % o menores, así como una relación inversa entre el porcentaje de daño en la semilla y su contenido de humedad, dado que al 9.7 % de humedad se observó el mayor daño. Siddique *et al.* (1987) sugieren que los niveles apropiados para cosechar y trillar la semilla de frijol se ubican entre 12 y 15 % de humedad; mientras que Acosta y Ospina (1979) señalan que la condición ideal para trillar es entre 14 y 15 %.

Barriga (1961), estudió frijoles blancos a tres diferentes niveles de humedad, encontrando que el promedio de daño mecánico vario inversamente con el nivel de humedad de la semilla, además de que el porcentaje de plántulas normales disminuyó en semillas cuyo contenido de humedad fue bajo.

### 2.8.3 Cosecha

Moreira y Nakagawa (1988) señalan que, la semilla en la cosechadora es un cuerpo estático contra el cual se mueve un cuerpo metálico (barras del cilindro trillador), lo que la convierte en una de las fuentes más importantes de daño mecánico. En la cosechadora, el daño mecánico ocurre en el momento de la trilla, o sea, en el momento en que se aplican fuerzas considerables sobre las semillas a fin de separarlas de la estructura que las contienen (vaina, espiga, etc.). Por su parte McDonald Jr. (1985), Teknory *et al.* (1987) y, Mesquita y Hanna (1993) mencionan algunas variables que inciden en el daño, tales como el tipo de combinada, velocidad del cilindro, espacio entre el cóncavo y el cilindro, superficie de impacto, contenido de humedad de la semilla, variedad y orientación de la semilla. Anazodo *et al.* (1981) reportaron que el daño también depende del diseño de la máquina, ajuste y operación, morfología de la semilla y propiedades mecánicas y físicas de esta.

Dos características importantes que afectan el grado de daño son la estructura y la resistencia de la semilla para removerla de la vaina, las cuales resultan afectadas por el contenido de humedad de las semillas, vainas y el grado de madurez. La cantidad de fibra de la vaina, que depende de la variedad, afecta el grado de daño a la semilla a través de su efecto en la factibilidad de la trilla (Justice y Bass, 1979; McDonald Jr., 1985).

El daño mecánico durante las operaciones de cosecha o en el subsecuente manejo de semillas de frijol es el resultado de dos efectos enlazados; semillas cuarteadas, rotas o sin la cubierta seminal y las semillas de frijol que son tratadas bruscamente, producen muchas plántulas anormales, ocasionando la pérdida de uno o de ambos cotiledones y/o el punto de crecimiento (Barriga, 1961).



#### 2.8.4 Trilla

La trilla de frijol puede hacerse en distintas formas; manual, a golpes, apisonamiento con animales o con las llantas de un tractor o camión, o bien usando una maquina trilladora. En todos los casos las vainas deben estar lo suficientemente secas para que puedan liberarse las semillas con facilidad, pero sin que ocasione daño físico a la semilla (Robles, 1983).

La semilla de frijol es muy susceptible a los daños físicos, los cuales se ven favorecidos por los sistemas de trilla utilizados para el desgrane (Faiguenbaum y Romero, 1989). Al respecto, Saini *et al.* (1982) efectuaron un experimento en el cual practicaron la trilla manual, trilla a golpes y con una trilladora para soya a 300, 400 y 500 rpm, encontraron que las semillas trilladas a mano mantuvieron la más alta viabilidad; sin embargo, el índice de vigor fue estadísticamente igual cuando la soya fue trillada a golpes y con trilladora a 300, 400 rpm; los porcentajes de viabilidad fueron significativamente bajos en semillas trilladas a 500 rpm. Por su parte, Prakobbonn (1982) encontró que en semillas cosechadas y trilladas en forma manual, con máquina y por golpeteo con palo de bambú, y que se almacenaron posteriormente durante 0, 1, 2, 4 y 5 semanas a 30 y 40 °C y 70 y 90 % de humedad relativa, la semilla cosechada y trillada manualmente mostró el mayor porcentaje de germinación antes y después del almacenamiento. Wilson y McDonald (1992) y Siddique *et al.* (1987) indican que la trilla mecánica genera en promedio más daño físico en las semillas que los métodos manuales. Así mismo, Saini *et al.* (1982) observaron que, en semilla de soya trillada con golpeteo manual (garroteo) y el de trilladora mecánica a 300 y 400 rpm de la velocidad del cilindro, no hubo efectos negativos sobre el porcentaje de germinación, longitud de hipocótilo y de raíz, así como en el índice de vigor, al contrario, cuando se aumentó la velocidad del cilindro de la trilladora a 500 rpm, el daño observado fue mayor.

En 1982, Prakobboon comparó la trilla manual, el golpeado con palo de bambú en piso de concreto y la trilla mecánica con una máquina Burrows a 740 rpm,

encontrando que las semillas trilladas manualmente germinaron sin problema alguno, en contraste a las trilladas con golpeteo y de forma mecánica, que mostraron bajo porcentaje de germinación y alto número de plántulas anormales.

Zoerb *et al.* (1993) señalan que la apertura del cilindro cóncavo para una trilla adecuada debe decidirse en función del contenido de humedad, por lo que debe reducirse la velocidad del cilindro en la trilla de semillas susceptibles al daño con bajo contenido de humedad. Al respecto, Wilson y McDonald (1992) señalan que el daño que se genera por la trilla mecanizada a bajos contenidos de humedad de las semillas es fácilmente detectable y es más notable en algunos genotipos de frijol.

Semilla de soya trillada con contenido de humedad de 8 y 12 %, inmediatamente después de la trilla, muestra bajo porcentaje de germinación y elevado número de plántulas anormales (Prakobboon, 1982). Saini *et al.* (1982) encontraron en semilla de soya que después de la trilla, presentaban daño físico de 0.3 al 4 % para un primer año de producción y de 0 al 12.3 % en el segundo. Los resultados se explican por las diferencias en el contenido de humedad, ya que el primer año se trillo con 12.0 y 12.7 %, en el segundo entre 10.1 y 10.8 %. Así mismo Mesquita y Hanna (1993), mencionan que la eficiencia de trilla es mayor (92.5 %) cuando las semillas tienen entre 10 y 16 % de contenido de humedad; mientras que con 21 % la eficiencia es menor (mayor daño mecánico a la semilla). Sin embargo, Acosta y Ospina (1979) mencionan que el daño físico de la semilla se incrementa drásticamente cuando el contenido de humedad en las semillas es de 13 %.

Toole *et al.* (Citados por Wilson y McDonald, 1992), concluyeron que la trilla mecánica causa rompimientos que resultan en la pérdida de más del 20 % de la semilla cosechada. Por su parte Wilson y McDonald (1992), indican que existen tres factores que afectan la severidad de daño en la trilla: el sistema de trilla, el ambiente y la variedad.

### 2.8.5 Acondicionamiento

McDonald Jr. (1985) menciona que la calidad de la semilla, prescindiendo de su habilidad para producir una plántula, está directamente relacionada con la eficiencia del acondicionamiento para remover todos los contaminantes y semilla dañada sin ocasionar daño físico adicional, todo ello con el propósito de obtener semillas de determinado tamaño para una buena presentación y precisión en la siembra. En el mismo sentido, Vieira *et al.* (1994) reportan que el acondicionamiento puede incrementar la calidad de semilla dependiendo del cultivar y de su calidad inicial.

Durante el procesamiento, la semilla está expuesta de manera importante al daño mecánico que ocurre principalmente por las caídas sucesivas desde alturas variables, al pasar esta por una serie de máquinas y depósitos, en este caso, la semilla es el cuerpo en movimiento y la superficie metálica es el cuerpo estático (Moreira y Nakagawa, 1988). En el mismo sentido, Díaz y González (1992) mencionan que puede ocurrir daño físico a semillas durante el acondicionamiento, ocasionado por cualquier equipo o por movimiento de semillas de un lugar a otro exponiéndolas a varios pasos de caída libre. Al respecto, Herazo y Mendoza (1985) indican que un acondicionamiento satisfactorio, requiere que los lotes de semilla pasen por una serie concreta de operaciones; así, tanto estas como las máquinas dependen del tipo de semilla, la naturaleza y tipo de contaminantes del lote y las normas comerciales de calidad que deben satisfacer.

De acuerdo con Gregg (1977), Herazo y Mendoza (1985), Misra *et al.* (1985) y Díaz y González (1992) el flujo de beneficio que siguen regularmente semillas de frijol y soya, comienza con el desplazamiento de semillas, mediante un transportador, del vagón o camión al almacenamiento temporal. Algunas veces la prelimpieza puede ubicarse antes que las semillas se depositen en el almacén temporal; después las semillas se transportan del almacén temporal a una máquina limpiadora, cuya función es reducir a un nivel aceptable las semillas de maleza, basura, partículas de

suelo y otros componentes. La máquina de aire y zarandas utiliza las diferencias entre las características físicas de semillas y contaminantes para lograr la separación, haciéndolo con base al tamaño, forma y peso. Posteriormente, varias plantas de beneficio utilizan un separador de gravedad o un separador fraccionario para mejorar la calidad de semilla. Por último, las semillas pueden pasar por una cinta seleccionadora o separación por color, tratamiento y empaque.

Jindal *et al.* (1979) y Moreira *et al.* (1981), señalan que las fuerzas estáticas y dinámicas son aplicadas a semillas cuando estas pasan a través de diferentes máquinas y equipos durante el acondicionamiento, además las fuerzas aplicadas a semillas incluyendo compresión, impacto, corte y abrasión ocasionan progresivamente aumento en la proporción de semillas con daño físico, especialmente cuando han pasado a través de desgranadoras y secado artificial. Al respecto, Bunch (1962), Watson y Herum (1986) indican que las acciones abrasivas pueden ocasionar daño a la semilla, pero no se acerca a los efectos severos que ocasiona el daño por impacto.

Para Srivastava *et al.* (1976) y Moreira *et al.* (1981), el daño físico está relacionado con la velocidad de impacto, tamaño y forma de la semilla, rigidez y ángulo de superficie de impacto, además para Carbonell y Krzyzanowsky (1995) agregan la distancia de caída libre, el número de pasos de caída y el sistema de descarga de semillas.

Bunch (1962), Baudet *et al.* (1978) y Vieira *et al.* (1994) indican que la calidad física y fisiológica es adversamente afectada por el aumento en la velocidad del elevador y por el número de pasos a través de este. Sin embargo, Bunch (1962) menciona que las semillas que pasan por transportadores y elevadores de cangilones, muestran daño mínimo cuando su contenido de humedad es de 14 a 16 %.

Vieira *et al.* (1994) mencionan que el acondicionamiento de semillas es una secuencia de actividades realizadas por maquinas específicas, las cuales se encuentran conectadas por elevadores. Por su parte Bunch (1962) y Vieira *et al.* (1994) mencionan que el diseño de elevadores ha resultado en utilizar una mayor velocidad que en aumentar el tamaño de los cangilones, por lo que, los sistemas de transporte pueden ser satisfactorios para granos pero no para semillas (Kelly, 1988).

Así Bunch (1962), Burris (1980) y McDonald Jr. (1985) indican que el transporte de semillas en una planta de acondicionamiento requiere de una serie de elevaciones y pasos de caída, así como de movimientos horizontales, un lote de semillas puede pasar de dos a siete veces a través de transportadores, en donde son elevadas y dejadas caer en diferentes máquinas y silos, por lo que, se impactan con superficies duras. Por su parte Burris (1980) menciona que el daño impuesto a la semilla por caída libre se debe a la disipación de la energía cinética generada por la caída; esta energía puede ser absorbida por el material con que la semilla se encuentra o por la misma semilla. Bunch (1962) señala que la germinación de semillas de frijol disminuyó de 95 a 53 % en solo una caída a 1.8 m, y que el daño es acumulativo, después de exponer las semillas a varios pasos en caída libre.

McDonald Jr. (1985) y Misra *et al.* (1985) indican que las operaciones de acondicionamiento, utilizando una máquina de aire y zarandas, separador de espiral, incrementaron la germinación de un lote de semillas en un 3 %, la máquina de aire y zarandas es el equipo más efectivo para la limpieza de semillas de soya, mejora la germinación en 1.5 % y elimina 2.6 % de semillas con daño físico, por otra parte, la mesa de gravedad mejora la germinación en 2.1 % y remueve el 1.5 % de semillas con daño físico.

Los daños son consecuencia de regulaciones mal hechas en las maquinas en equipos que realizan las operaciones de procesamiento; mayormente cuando las semillas presentan contenido de humedad elevado o muy bajo. Estos daños, que

dependen de la intensidad, pueden alcanzar diferentes partes de la semilla como el embrión o el endospermo (Moreira y Nakagawa, 1988). De acuerdo con Bunch, (1962) y McDonald Jr. (1985) en operaciones de pre-acondicionamiento, los equipos para desgranar, desaristar, escarificar y pulir deben manejarse con especial cuidado para evitar daño físico a semillas. Por su parte, Misra *et al.* (1985) mencionan que el desgrane puede causar daño físico y reducir la calidad de semilla, por lo que debe elegirse una desgranadora que satisfaga los requisitos de capacidad y hacerla funcionar en forma adecuada para reducir al mínimo el daño.

### **2.8.6 Transporte**

Durante cualquier movimiento que se haga de la semilla ocurre daño, es decir, del campo a la planta de beneficio; durante el beneficio y almacenamiento o incluso durante la venta (McDonald Jr., 1985).

Moreira y Nakagawa (1988) mencionan que la proporción de daño mecánico que pudieran generar cada una de las etapas, se distribuye de la siguiente manera; siembra 4 %, cosecha 40 %, procesamiento 50 %, almacenamiento 4 % y transporte 2 %.

### **2.8.7 Almacenamiento**

Poco se ha estudiado sobre la naturaleza de la interacción de los procesos de deterioro con el daño físico y su efecto en la calidad de semilla durante el almacenamiento (Peterson *et al.*, 1995).

Bajo condiciones de almacenamiento se tiene evidencia de que algunas semillas de leguminosas con daño, pierden su viabilidad más rápido que las semillas intactas (Justice y Bass, 1979; Delouche, 1981), y para mantener estas para el próximo ciclo de siembra, se requieren de muy buenas condiciones de almacenamiento (Bunch, 1962).

## 2.9. Manifestación del daño físico en semillas

McDonald Jr. (1985) y Tekrony *et al.* (1987) indican que el daño físico de la semilla puede tomar varias formas, y la más severa está dada por la división de los cotiledones y fragmentación de semillas, que muchas veces no llegan a ubicarse dentro de la fracción de semilla pura; la forma más común de daño físico visible en la semilla es la rotura o fisura de la testa, que es difícil de remover mediante el acondicionamiento; no obstante, es un claro indicador de reducción de calidad, ya que estas manifestaciones obvias de daño, generalmente enmascaran formas más sutiles que son consecuencia del daño físico.

Bunch (1962), Moore (1972), Mathiasson y Wignell (1977), McDonald Jr. (1985) y Tekrony *et al.* (1987) mencionan que en casos extremos el daño a la radícula puede resultar en plántulas anormales, ausencia de germinación o reducción de la emergencia en campo, debido a la ruptura total o parcial de estructuras esenciales, o porque estas lesiones permiten la entrada de microorganismos. Por su parte, Moore (1972), McDonald Jr. (1985), Tekrony *et al.* (1987) y Vierira *et al.* (1994) señalan que los daños en estructuras, como en la radícula y aplastamiento de los cotiledones son difíciles de detectar bajo la testa, producen un sistema radicular corto, roto y/o débil que se comporta deficientemente en campo.

De acuerdo con Barriga (1961), Prakobboon (1982) y Wilson y McDonald (1982), las plántulas anormales de semillas con daño físico, incluyen aquellas con cotiledones dañados, pérdida de uno o ambos cotiledones, reducción del área total de los dos cotiledones a menos de la mitad, rotura del epicótilo o hipocótilo.

Las semillas dañadas de acuerdo con McDonald Jr. (1985), presentan algunos inconvenientes tales como: son más difíciles de limpiar durante el beneficio, las pérdidas durante la limpieza son mayores, la disminución en la germinación es más severa, muestran una reducción considerable del vigor, la susceptibilidad a daños

por tratamientos químicos es mayor, son más susceptibles a organismos destructores, disminuyen su longevidad durante el almacenamiento y reducen el rendimiento comercial.

## **2.10. Métodos para evaluar el daño físico**

McDonald Jr. (1985), menciona que las pruebas de calidad de las semillas, que pueden ser empleadas para detectar el daño incluyen la germinación estándar y pruebas de vigor, sin embargo, se han desarrollado pruebas más rápidas para identificar el daño físico de semillas, donde se incluye la prueba de conductividad eléctrica, prueba de tetrazolio, prueba de indoxil acetato e hipoclorito de sodio. Por su parte, Moore (1972) y Paulsen y Nave (1979) reportan que los tejidos con daño por aplastamiento, como ocurre en cotiledones e hipocótilo desarrollan un color rojo oscuro, indicando un nivel rápido de respiración.

Por su parte, Paulsen y Nave (1979), McDonald Jr. (1985) y Tekrony *et al.* (1989) indican que la prueba de hipoclorito de sodio evalúa el daño físico en semillas de soya y frijol, donde las semillas son sujetas a inmersión en una solución diluida por cinco minutos; también, señalan que las semillas con fisuras en la testa absorben la solución y se hinchan dos o tres veces más en relación a su tamaño original, lo cual facilita su separación e identificación.

Así Moreira *et al.* (1981) y Copeland y McDonald (1985), mencionan que la determinación colorimétrica del daño, consiste en el uso de un tinte o químico que se adhiera solamente en el área expuesta de la semilla dañada y no en la testa; así, la tinta presente en la muestra puede ser medida usando un colorímetro simple o un espectrómetro; señalan que la prueba de verde rápido se utiliza ampliamente en semillas de maíz, donde estas se sumergen en una solución al 0.1 % de verde rápido por cuatro minutos y posteriormente se lavan.



### **2.11. Prácticas para reducir el daño físico en el acondicionamiento de semillas**

No es posible eliminar totalmente la proporción y tipo de daño durante la cosecha y acondicionamiento, pero si puede limitarse mediante prácticas de manejo que reduzcan el nivel de impacto y su efecto global en la calidad de semillas (Tekrony *et al.*, 1987).

Baudet *et al.* (1978), recomiendan disminuir la velocidad de elevadores de cangilones y reducir el número de pasos de las semillas a través de estos para minimizar el daño. En el mismo contexto, Mathiasson y Wignell (1977) y Paulsen e Hill (1977), consideran el uso de elevadores de descarga combinada (centrifuga y gravedad), operados a velocidades bajas y a capacidad total para reducir el daño físico.

Bunch (1962) y Harrington (1977), señalan que poco puede hacerse para disminuir el daño en equipo de limpieza y clasificación, pero la velocidad y ajustes de desaristadoras, pulidoras y escarificadores pueden ser cuidadosamente controladas para mantener el daño a la semilla a un mínimo. Por su parte, Bunch (1962) menciona que, el acondicionamiento de semillas con alto contenido de humedad, ocasiona menos daño visible durante el manejo que en semillas muy secas, pero debe buscarse que estos mismos contenidos de humedad no causen un problema en sitios internos de la semilla.

LeFord y Russell (1985) hacen referencia sobre el desarrollo de equipos que reducen el daño físico de la semilla; estos incluyen secadores de flujo concurrente, secado-aereación o métodos de resfrío lento, los cuales reducen el daño por fisuramiento por estrés y aparatos de flujo lento.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados. Para fines de manejo el trabajo de investigación se dividió en tres etapas: siembra y manejo del cultivo en campo, acondicionamiento del material cosechado en la planta de beneficio de semillas y finalmente la evaluación de cada uno de los tratamientos tanto en laboratorio como en microtúnel.

#### **3.1. El material genético**

El material genético utilizado fue proporcionado por el área de Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados (CP), incluyó tres variedades de frijol común: Canario 107, Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro.

#### **3.2. Producción de semillas**

Las variedades se cultivaron y cosecharon en el Lote 3A del Campo Experimental del Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México, que se encuentra situado a 19° 29' Latitud Norte y 98° 53' Longitud Oeste a una altitud de 2240 msnm.

##### **3.2.1. Conducción del lote de producción en campo**

###### **3.2.1.1 Preparación del terreno**

La preparación del terreno, consistió en dar un paso de arado como parte del barbecho seguido de un paso de rastra; el surcado que fue realizado a 0.8, m de separación.

### **3.2.1.2 Tamaño de parcela**

La parcela para cada variedad consistió de 33 surcos con una longitud de 100 m, como aislamiento entre las variedades se utilizaron tres surcos de maíz, así como en los bordos de la parcela, con el objetivo de evitar posibles contaminaciones, el establecimiento en campo de cada variedad fue de acuerdo a la duración del ciclo, de ahí que la distribución de los genotipos fue Canario 107, Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro.

### **3.2.1.3 Fertilización al suelo**

La fertilización se aplicó durante la siembra, usando la fórmula 60-30-00, la cual se dividió en dos momentos de aplicación, la primera durante la siembra 30-30-00 y la segunda en la primera escarda 30-00-00.

### **3.2.1.4 Siembra**

La siembra se realizó en seco el día 8 de Mayo de 2012, la semilla se depositó manualmente a chorrillo en el fondo del surco, la cual se cubrió con una capa delgada de suelo; para Canario 107 se utilizaron 9 kg de semilla; 7.5 kg para Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro. La diferencia en la cantidad de material utilizado estuvo relacionada con el tamaño de semilla, la variedad Canario 107 es de una semilla de mayor tamaño en comparación con las otras variedades, lo que de manera directa se reflejaría en una menor densidad de población.

### **3.2.1.5 Riego**

El primer riego rodado se dio dos días después de la siembra, posteriormente se aplicaron 4 riegos durante el ciclo de desarrollo del cultivo, para evitar la falta de humedad en periodos críticos del desarrollo y crecimiento (floración y llenado de semilla).

### **3.2.1.6 Fertilización foliar**

Durante el desarrollo del cultivo, se realizó una aplicación foliar con Nitrofosca a una dosis de 60 ml/ 20 L y de Nutriplant plus a una dosis de 40 ml/20L de agua, además de estas se realizaron cuatro aplicaciones adicionales con urea diluida en dosis de 50 g de urea/20 L de agua.

### **3.2.1.7 Control de malezas**

Se realizaron dos escardas; la primera a los 27 días después de la siembra y la segunda a los 55 días. Se procuró mantener limpio el área de cultivo de las tres variedades durante todo su ciclo, sin embargo, se presentaron algunas plantas nocivas como el quelite cenizo (*Chenopodium album*) y en mayor proporción chayotillo (*Sicyos deppei* G. Don), para su control se realizó una aplicación en el mes de Julio de Fusiflex a una dosis de 70 ml/20 L de agua, además se realizaron deshierbes manuales con azadón.

### **3.2.1.8 Control de plagas**

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron dos aplicaciones de Lorsban 480 (Clorpirifos etil), a una dosis de 70 ml/ 20 L de agua durante los meses de Julio y Agosto para el control de conchuela (*Epilachna varivestis* Mulsant), en mayor proporción en las variedades Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro.

### **3.2.1.9 Cosecha**

Para determinar la época de cosecha de las variedades se consideró como segundo factor en estudio al contenido de humedad y a sus niveles (14 y 20 %), se definieron dos épocas de cosecha, la primera cuando la semilla alcanzó un contenido de humedad del 20 % y la segunda al 14 %, respectivamente, para ello se monitoreo el contenido de humedad en la semilla una vez por semana después de iniciada la etapa de floración. Para cada una de las variedades una vez alcanzado el contenido

de humedad de 20 % se procedió a realizar la cosecha, del área sembrada se retiró la mitad del material y la otra se quedó en el campo hasta llegar a un contenido de humedad del 14 % para realizar su cosecha.

#### **3.2.1.10 Trilla**

Después de realizar la cosecha se procedió con la trilla, que fue realizada con una trilladora mecánica estacionaria marca ALMACO con motor de gasolina, se calibró para realizar una trilla uniforme para los dos contenidos de humedad en las tres variedades. Por la condición de la duración del ciclo de cultivo de cada una de las variedades, se trilló a los 121 días la variedad Canario 107, a los 171 días el Tipo Flor de Mayo, y por último a los 181 días el Negro Querétaro.

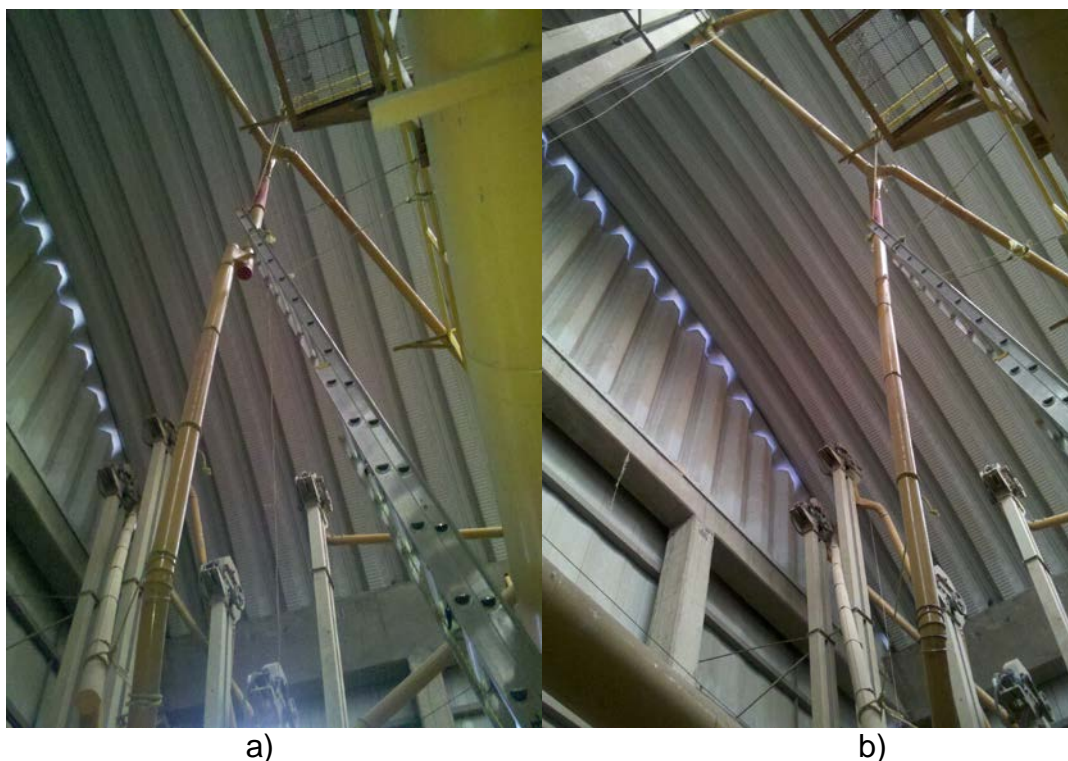
### **3.3. Planta de beneficio de semillas**

#### **3.3.1. Beneficio**

Las variedades trilladas a contenidos de humedad de 14 y 20 %, se dividieron en dos grupos de estudio dentro de la planta de beneficio. Para determinar el daño físico y fisiológico que se ocasiona a la semilla de las tres variedades (Canario 107, Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro) durante el beneficio, fue necesario pasar cada variedad por matacaídas y sin matacaídas, para cada una de las condiciones se utilizaron 20 kg de semilla, para hacer la comparación de la respuesta de la semilla a los dos diferentes contenidos de humedad (14 y 20 %), para lo cual fue necesario esperar a que se estabilizara una vez que fueron cosechadas las variedades en los dos contenidos de humedad.

El primer grupo fue sometido a beneficio sin matacaídas, mientras que en el segundo grupo se usaron matacaídas (Figura 4). Ambas condiciones de beneficio se encontraban localizadas entre el elevador de la máquina de aire y zarandas y la tolva de almacenamiento de la mesa de gravedad.

La primera condición de beneficio se formó sin matacaídas o caída libre, donde la semilla realizó un recorrido de aproximadamente 10 m, con una pendiente de 45 grados. La segunda condición se formó de dos matacaídas, para ello se instalaron en el recorrido de los 10 m, tubos tapados en la parte inferior con una profundidad de 10 cm que permitió formar una base de semillas como punto de frenado. El primer matacaídas se colocó a los 3.3 m, y pegado a este una salida para dar paso a la semilla por el segundo matacaídas instalado a 6.6 m, posteriormente la semilla toma velocidad, para llegar a la tolva de recepción de la mesa de gravedad.



**Figura 4. Beneficio de las semillas con matacaídas (a) y sin matacaídas (b).**

### **3.3.2. Muestreo**

Para evaluar la calidad de la semilla de las variedades durante el acondicionamiento, se establecieron 5 puntos de muestreo (Pm); Pm 1: primer tolva, Pm 2: salida de la MAZ (máquina de aire y zarandas), Pm 3: segunda tolva que se encuentra antes de entrar a la MG (Mesa de gravedad), Pm 4: después de la MG y Pm 5: después de la tratadora.

Se tomaron dos muestras de 1 kg por cada punto de muestreo a evaluar, posteriormente las muestras se mezclaron para formar una muestra compuesta que se llevó al laboratorio.

### **3.4. Evaluación de la calidad física y fisiológica en el laboratorio**

#### **3.4.1. Calidad física**

**Contenido de humedad.** Este parámetro se cuantifico en tres momentos; (1) para determinar el momento oportuno de cosecha; (2) durante las pruebas de calidad en trilla y (3) para realizar el acondicionamiento en la planta de beneficio de semillas. Para determinar el contenido de humedad de las semillas se utilizaron dos repeticiones de 5 g de semilla, las muestras se pusieron a secar en una estufa calibrada a 130 °C de temperatura por una hora hasta lograr peso constante (ISTA, 2005), el resultado fue el promedio de las dos repeticiones, el cual se expresó en porcentaje.

**Análisis de pureza.** El análisis de pureza de las semillas se evaluó durante el flujo de beneficio, en cinco puntos de muestreo, para cada una de las variedades, de manera general bajo cuatro escenarios: (1) semillas con 14 % de humedad y beneficiadas con matacaídas; (2) semillas con 20 % de humedad y beneficiadas con matacaídas; (3) semillas con 14 % de humedad y beneficiadas sin matacaídas y (4) semillas con 20 % de humedad y beneficiadas sin matacaídas.

Para conocer los componentes de la muestra de trabajo (700 g) obtenida previamente de la homogenización de las muestras mediante el homogeneizador Boerner, los diferentes componentes se separaron y cuantificaron de acuerdo a la metodología de la ISTA (2005), de la siguiente manera:

- **Semilla pura (SP):** la clasificación para determinar la semilla pura de la muestra se realizó considerando las recomendaciones de la ISTA (2005), donde la semilla de frijol, así como la de otras dicotiledóneas tiene diferentes consideraciones.

- Semillas de otros cultivos (OS): se consideró a todas las semillas que fueron diferentes a la semilla pura en la muestra de trabajo.
- Materia inerte (MI): se consideró al resto de los componentes de la muestra de trabajo, entre ellos a las partes de semillas que fueran menores a la mitad del tamaño original de la semilla, cubiertas de semillas y cotiledones totalmente separados, y en su conjunto a todo el material diferente a la semilla (terrones, etc.).

**Daño evidente (DE).** Después de realizar el análisis de pureza de acuerdo con la metodología establecida por la ISTA (2005) se puso especial atención a la fracción de semilla pura, con el objetivo de determinar, la cantidad de semilla que se encontraba dañada a simple vista (semillas con testa fracturada y aplastada), para ello se colocó un papel blanco sobre la superficie de una mesa y sobre él la muestra de semilla pura y a contra luz se realizó la separación, el resultado para dicha variable se expresó en porcentaje.

**Daño mecánico (DM).** Esta prueba se realizó en las tres variedades para determinar la magnitud del daño ocasionado durante la trilla y beneficio. Las muestras utilizadas para llevar a cabo la prueba de daño mecánico fueron las muestras de trabajo que se llevaron al laboratorio, resultado de la mezcla de las muestras primarias tomadas de los cinco puntos de muestreo de la planta de beneficio, durante el recorrido de las semillas. La prueba consistió en colocar 400 semillas (cuatro repeticiones de 100 semillas) de cada tratamiento (Cuadro 1A) en una solución de hipoclorito de sodio al 5 % (ISTA, 2005) durante 10 a 15 minutos y posteriormente se hizo la evaluación del daño mecánico, tomando como semillas dañadas a todas aquellas que presentaran protuberancias en la testa y semillas que de alguna manera exhibían parte de los cotiledones, el resultado se expresó en porcentaje.



### **3.4.2. Calidad fisiológica**

**Prueba de germinación estándar (G).** Se realizó una prueba de germinación estándar “entre papel” para cada uno de los tratamientos en las tres variedades de acuerdo con la metodología establecida por la ISTA (2005). De cada punto de muestreo se tomaron 400 semillas al azar para establecer cuatro repeticiones de 100 cada una. Cada repetición se subdividió en 16 grupos de 25 semillas, se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5 % y se enjuagaron con agua destilada para ser distribuidas en 5 columnas y 5 hileras, en sanitas previamente humedecidas con agua destilada sobre una superficie plana y desinfectada, posteriormente se cubrió con dos sanitas que se enrollaron en forma de “taco” y finalmente se colocaron en posición vertical en bolsas de plástico transparente con medidas de 30 x 40 cm. Las bolsas fueron colocadas en una cámara de germinación a  $25\pm 1$  °C durante 9 días con luz. Se realizaron dos conteos, el primero a los cinco y el segundo a los nueve días de establecida la prueba, y los resultados se expresan en porcentaje.

### **3.5. Evaluación de la calidad fisiológica en microtúnel**

**Índice de velocidad de emergencia (IVE).** Para evaluar el IVE en las tres variedades se sembraron 400 semillas (4 repeticiones de 100 semillas) en charolas de plástico de 36 cm de largo x 27 cm de ancho y 6.4 cm de profundidad, como sustrato se utilizó arena de río previamente esterilizada a vapor durante aproximadamente 6 horas. Las semillas se desinfectaron con cloro al 5 % durante 5 minutos, transcurrido el tiempo se enjuagaron con agua destilada. Se colocó en primer lugar una capa de arena de 4.4 cm, sobre ella las semillas desinfectadas con el rafe hacia abajo de tal manera que el micrópilo quedó en la parte superior permitiendo que la raíz creciera hacia abajo sin necesidad de dar la vuelta, una vez colocadas las 100 semillas por charola se procedió a cubrir con 1 cm de arena, el exceso fue quitado con un rizador y posteriormente se dio un riego con 1.5 L de agua. El mantenimiento de cada una de las charolas consistió en dar el primer riego

a los 5 días después de la siembra y posteriormente se dieron riegos cada tercer día con 600 ml de agua.

Se realizaron conteos diarios del número de plántulas emergidas, tomando como parámetro la aparición de los cotiledones sobre la superficie, se consideró como primer día aquél en que se observó la primera plántula emergida; el final del conteo fue a los quince días después del establecimiento del experimento para las variedades Canario 107 y Tipo Flor de Mayo, mientras que para Negro Querétaro se utilizó un periodo más amplio debido a que tarda mas tiempo en emerger. El IVE se calculó de acuerdo a la fórmula propuesta por Maguire (1962), el resultado se expresó en plántulas emergidas/día.

$$VE = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Xi}{Ni} \right)$$

En donde:

VE = Velocidad de emergencia

Xi = Número de plántulas emergidas por día

Ni= Número de días después de la siembra

**Altura de plántula (ALT).** De la prueba de velocidad de emergencia se tomaron 10 plántulas normales al azar de cada repetición, y se midió en centímetros la longitud de la parte aérea, desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga, el resultado fue expresado en centímetros.

**Peso seco de plántula (PS).** De cada repetición se utilizaron solo aquellas plantas que se consideraron normales durante la prueba de emergencia, desechando a toda aquella que fuera anormal (ausencia y deformación de ápice, poco desarrollo del hipocótilo y epicótilo); posteriormente, la parte aérea fue colocada en una bolsa de papel perforado para someterla a secado en una estufa a 70 °C durante 72 h; al final

de este periodo se determinó en una báscula de precisión el peso seco en gramos por plántula normal.

### **3.6. Diseño experimental**

Para la evaluación de la germinación y daño mecánico de las semillas las muestras se tomaron y analizaron bajo un diseño completamente al azar estudiando cuatro factores (variedad, contenido de humedad, matacaídas y punto de muestreo), la prueba de vigor se analizó bajo un diseño en bloques completamente al azar con los cuatro factores señalados anteriormente. El resultado de la combinación de los cuatro factores dio como resultado 60 tratamientos (Cuadro 1A).

### **3.7. Análisis estadístico**

Con los datos concentrados se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento ANOVA, de acuerdo a cada uno de los diseños utilizados, usando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System 9.0, 2010). Al haber diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple de medias por el método de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Se realizó el análisis de varianza multivariado (MANOVA) con el programa SAS 9.0, al encontrar diferencias estadísticas significativas se consideró adecuado la implementación de la técnica de análisis de componentes principales (ACP), para establecer la dispersión de las variedades, contenido de humedad, matacaídas y puntos de muestreo en planos con una dimensión reducida y agrupados para clasificar los cultivares en función de la dependencia de su homogeneidad (Franco e Hidalgo, 2003).

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis de la calidad física y fisiológica en laboratorio**

#### **4.1.1. Análisis de pureza**

En todos los casos la calidad física de las semillas se mejoró en relación a la cantidad de semilla pura que se tiene en el Pm 1, localizado en la primera tolva de almacenamiento, antes de que las variedades entraran a la máquina de aire y zarandas, que eliminó material de mayor y menor tamaño, respecto al Pm 5 donde se obtuvo la mayor cantidad de semilla pura.

La calidad física de las semillas se mejora, ya que en todos los casos la cantidad de materia inerte que entro al flujo de beneficio en el Pm 1, disminuyó al final del flujo de beneficio en el Pm 5, ubicado al final de la tratadora de semillas.

En semillas con 14 % de humedad y beneficiadas con matacaídas, los componentes más importantes en los puntos de muestreo fueron la semilla pura y materia inerte. La variedad Tipo Flor de Mayo presentó la mayor cantidad de semilla pura en los cinco puntos de muestreo, seguido de la variedad Negro Querétaro y finalmente Canario 107. Lo que se podría explicar debido a que Canario 107 presentaba un mayor daño evidente desde el inicio del flujo de beneficio, en comparación con las otras dos variedades. La variable materia inerte mostró una disminución, mientras avanzó el flujo de semillas durante el beneficio, estos resultados pueden relacionarse con base en la función de la máquina de aire y zarandas (MAZ) y la mesa de gravedad (MG), ya que ambas eliminan material que no cumple con las características de una semilla pura. La variedad Canario 107 no presentó semillas de otras especies (mezcla de semillas de las variedades evaluadas y otros cultivos), ya que presenta un ciclo de desarrollo precoz (Cuadro 2A).

La evaluación de las tres variedades de frijol trilladas con un contenido de humedad del 20 % y beneficiadas con matacaídas, permitió observar que la variedad Canario

107, presentó durante el flujo de semillas en la planta de beneficio la mayor cantidad de semilla pura en los cinco puntos de muestreo. De manera general, la cantidad de semilla pura aumentó en las tres variedades durante el flujo de la semilla al pasar de un punto a otro. La variedad Tipo Flor de Mayo presentó la menor cantidad de materia inerte en los cinco puntos de muestro, así como la mayor cantidad de semilla con daño evidente, y era de esperar que a mayor daño evidente en la semilla, hubiera mayor cantidad de materia inerte en la muestra; estos resultados manifiestan que semillas beneficiadas con un contenido de humedad de 20 %, tienden a amortiguar el impacto recibido en las diferentes maquinas usadas para el beneficio (Cuadro 3A).

Cuando las variedades fueron trilladas con un contenido de humedad de 14 % y beneficiadas sin matacaídas, permitió observar que la variedad Tipo Flor de Mayo presentó la mayor cantidad de semilla pura. El mayor porcentaje de daño evidente se encontró en la variedad Canario 107, los resultados pueden estar relacionados con la velocidad a la cual viaja la semilla durante el beneficio, ya que sin matacaídas, la semilla tendrá una mayor fuerza de impacto, que de manera indirecta se presentó como daño evidente; adicionalmente, el tamaño de semilla puede ser otro factor que se relaciona con estos resultados, y en este caso Canario 107 es el que presenta el mayor tamaño de semilla. La presencia de otras especies contempla mezclas resultado, de la cruce de las variedades de frijol que no pertenecen a las variedades en estudio (Cuadro 4A).

El beneficio de la semilla de las tres variedades, trilladas con un contenido de humedad de 20 % y beneficiadas sin matacaídas, permitió observar que la variedad Canario 107 presentó la mayor cantidad de semilla pura, este resultado puede deberse a la mayor cantidad de semilla presente en la muestra, ya que, dicha variedad no presentó semillas de otras especies, sin embargo, hay que considerar también que el daño en ocasiones no se pueda observar a simple vista en la semilla ya que es un daño oculto, adicionalmente se debe considerar la relación peso y tamaño de la semilla, semillas más grandes presentan mayor cantidad de reservas

en comparación con semillas de menor tamaño como las semillas de las variedades Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro. Los resultados obtenidos de daño evidente muestran un comportamiento inconsistente en la variedad Canario 107, ya que fue la que menor daño evidente presentó durante el flujo de beneficio de semillas, era de esperarse que en semillas con 20 % de humedad y beneficiadas sin matacaídas, Canario 107, siguiera siendo la variedad con mayor daño. Estos resultados permiten inferir que además del beneficio con y sin matacaídas, el contenido de humedad en la semilla juega un papel muy importante, ya que le confiere a la semilla mayor elasticidad y superficie de impacto (Cuadro 5A).

#### **4.1.2. Análisis simple**

Para daño mecánico hubo diferencias significativas (Cuadro 4) y el tratamiento que muestra el mejor comportamiento fue el 57, que corresponden a la variedad Negro Querétaro que presentó el menor daño mecánico cuando fue trillado con un 20 % de humedad, con uso de matacaídas y muestreado en la salida de la máquina de aire y zarandas (Pm 2). Además, el análisis por tratamiento permitió agrupar a los tratamientos 54, 56 y 57 con el menor daño mecánico, sobresaliendo la variedad Negro Querétaro como la más tolerante al daño mecánico, mientras que los tratamientos 7, 8, 9, y 10 causaron el mayor porcentaje de daño mecánico en la variedad Canario 107 como la variedad con menor tolerancia (Cuadro 6A).

Para germinación hubo diferencias significativas (Cuadro 4), el tratamiento que presentó el mejor comportamiento fue el 18 que se relaciona con la variedad Canario 107, trillado a un 14 %, y beneficiado con matacaídas y muestreado en la segunda tolva de almacenamiento que se encuentra antes de entrar a la mesa de gravedad (Pm 3). De igual manera el análisis permitió observar que los tratamientos que presentaron el menor porcentaje de germinación correspondieron a la variedad Negro Querétaro (Cuadro 6A).

**Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables de calidad fisiológica de tres variedades de frijol.**

F. de V	G.L	Daño Mecánico	Germinación
Tratamiento	59	222.65424**	162.08023**
Error	180	10.29444	29.24444
Total	239		
CV		34.13293	6.524609

### 4.1.3. Análisis Factorial

#### 4.1.3.1. Daño mecánico

El daño mecánico ocasionado a la semilla de frijol durante la trilla y el beneficio se evaluó mediante la prueba de hipoclorito de sodio, la cual permitió observar el daño oculto en la semilla que no se detecta en forma visual. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre las tres variedades evaluadas (Cuadro 5). El mayor porcentaje de daño mecánico (Cuadro 6), lo presentó la variedad Canario 107, seguido de Tipo Flor de Mayo y finalmente Negro Querétaro, esto hace suponer que al ser semillas de diferentes genotipos tendrían respuestas diferenciales durante el beneficio y que semillas más grandes presentarían más daño mecánico. Por las características de las variedades utilizadas en este estudio, es posible que los resultados obtenidos se deban a la mayor proporción de lignina asociada con el color oscuro de la testa, que como se ha señalado, le da mayor resistencia al daño físico (Dickson, 1975). Para este caso, favorecen a la variedad Negro Querétaro. Resultados similares presentó Romano *et al.* (2008), quienes concluyen que el daño mecánico afectó de modo diferencial a ambos cultivares de poroto, manifestándose “poroto” blanco cv. Paloma INTA como el más sensible al deterioro; lo que se evidenció a través de diferencias estadísticas detectadas en el crecimiento entre plántulas normales y anormales; en tanto que, “poroto” negro cv. Camilo INTA lo expresó sólo en el lote más dañado. Boesewinkel y Bouman (1995) indican que la testa tiene dos funciones importantes, las cuales son proteger al embrión en la semilla madura y suministrar nutrientes durante su desarrollo. La testa tiene una estructura en capas, lo que refuerza su capacidad para evitar daños mecánicos a las semillas y ayuda a prevenir la deshidratación o la posible depredación (Rudall, 1987).

La testa se compone principalmente de celulosa y otros polisacáridos, lignina, cutina, proteínas, compuestos fenólicos, pigmentos, ceras, grasas y materia resinosa, para proporcionar una mayor protección contra el daño mecánico (Werker, 1997).

**Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables daño mecánico y germinación.**

F. de V	G.L	Daño Mecánico	Germinación
Var	2	1552.087500**	82.4000000**
Ch	1	1421.066667**	445.537500**
Mat	1	1560.600000**	315.104167**
Pm	4	102.993750**	61.7354167**
Var x Ch	2	561.629167**	84.6500000**
Var x Mat	2	786.837500**	145.816667**
Var x Pm	8	31.759375**	33.0510417*
Ch x Mat	1	1126.666667**	17.6041667
Ch x Pm	4	53.222917**	9.4437500
Mat x Pm	4	148.068750**	44.0729167*
Var x Ch x Mat	2	168.129167**	102.316667**
Var x Ch x Pm	8	72.582292**	20.384375
Ch x Mat x Pm	4	51.197917**	18.656250
Vr x Ch x Mat x Pm	16	39.639583**	15.8739583
Error	180	10.29444	15.573611
Total	239		
Cv		34.13293	4.642072

\* = Significancia estadística a P ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\*= Significancia estadística a P ( $\alpha \leq 0.01$ ); Var = Variedad; Ch = Contenido de humedad; Mat = Matacaídas; Pm = Punto de muestreo y CV= Coeficiente de variación.

Cuando las variedades fueron trilladas con un contenido de humedad del 20 % se causó el menor daño mecánico a la semilla (Cuadro 6). Esto demuestra que las semillas con mayor contenido de humedad, hasta cierto nivel, sufrirán menor daño. Se ha reportado que al disminuir el contenido de humedad en la semilla, estas se vuelven menos plásticas. Tal pérdida de elasticidad hace que el impacto recibido en la superficie se distribuya a lo largo de una línea resultante de las fuerzas en acción, con prácticamente la misma intensidad al momento del impacto (Burris, 1980), conduciendo a la rotura de los tejidos de la semilla a lo largo de aquella línea, como lo reportan Moreira y Nakagawa (1988). Otros autores como Szwed y Lukaszuk (2007), reportaron que en semillas de colza y trigo, el número de semillas dañadas disminuyó con el aumento en el contenido de humedad, resultados que se atribuyeron al cambio de elasticidad en el mayor nivel de humedad, lo que genera una mayor absorción de la energía durante el impacto. Lo anterior coincide con los



resultados que se obtuvieron en esta investigación, específicamente con las variedades manejadas con un bajo contenido de humedad (14 %). Mesquita y Hanna (1993) señalaron que el daño mecánico se incrementó al disminuir el contenido de humedad en semilla de soya; Mancera *et al.* (2007) encontraron que en semillas de maíz con un contenido de humedad de 23 % presentan el menor daño físico, mayor porcentaje de germinación y menor pérdida de electrolitos.

**Cuadro 6. Promedio de la variable daño mecánico (% de semilla dañada).**

Factor	Daño mecánico (%)
<b>Variedad</b>	
Canario 107	14.2875 a
Tipo Flor de Mayo	8.1750 b
Negro Querétaro	5.7375 c
	DSM 0.5= 1.1989
<b>Contenido de humedad</b>	
14%	11.8333 a
20%	6.9667 b
	DSM 0.5= 0.8173
<b>Matacaídas</b>	
Sin matacaídas	11.95 a
Con matacaídas	6.85 b
	DSM 0.5= 0.8173
<b>Punto de muestreo</b>	
Pm 3	10.7917 a
Pm 5	10.3542 a
Pm 4	10.2292 a
Pm 1	7.875 b
Pm 2	7.75 b
	DSM 0.5= 1.8047

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales al 0.05 % de probabilidad.

Pm 1 = 1ra tolva de almacenamiento, Pm 2 = después de la MAZ, Pm 3 = después del elevador y antes de la MG, Pm 4 = después de la MG y Pm 5 = después de la tratadora.

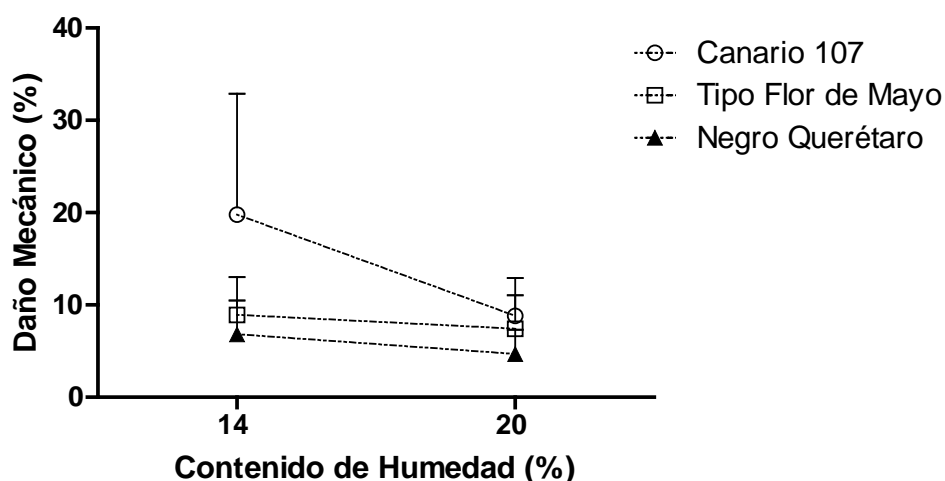
Durante la trilla se pudo observar que un contenido de humedad de 20 % en la semilla, causó mayores dificultades que con un 14 %, de tal manera que, la cantidad de materia prima que entraba a la trilladora (ALMACO) era menor en consideración al 14 %, y la cantidad de semilla entre los rodillos fue un tanto menor. Al respecto, Bosoi *et al.* (1991) indican para maíz que se debe tomar en cuenta, que a mayor contenido de humedad en las estructuras de unión entre la semilla y olote, mayor será la energía necesaria para separarlas.

En relación con los matacaídas, los resultados que muestran los porcentajes más bajos de daño mecánico fueron cuando la semilla se benefició con dos matacaídas (Cuadro 6). Lo anterior se explica en el sentido de que las semillas que caen en caída libre (recorrido vertical de 10 m) presentan una mayor velocidad y por lo tanto, una mayor fuerza de impacto contra la tolva de almacenamiento, efecto que se amortigua cuando se usan los dos matacaídas, ya que la semilla frena su velocidad en el primer matacaídas, para después recuperarla al pasar al segundo, por lo que, la velocidad de impacto es menor. Algunos autores como Bunch (1962), Burris (1980) y McDonald Jr. (1985) sugieren que debe considerarse la influencia de la altura de caída, ya que a mayor altura corresponde una mayor velocidad de impacto de la semilla, con frecuencia, la fuerza ejercida por el obstáculo supera a la fuerza de integridad de la semilla, ocasionando daño físico.

Es de resaltar que donde se encontró el menor daño mecánico fue en los puntos de muestreo 1 y 2. Como era de esperarse el punto de muestreo 2 es el que presentó el menor daño mecánico, esto se puede explicar debido a que este se realizó después de la máquina de aire y zarandas (MAZ), cuya función primordial es eliminar de la muestra de semillas, todo el material que pesaba menos que la semilla pura, por lo que, la semilla que ya se encontraba quebrada se eliminó, en el Cuadro 7A, se muestra la eficiencia de cada una de las máquinas que se incluyeron durante el beneficio de las tres variedades de frijol, bajo las diferentes condiciones de contenido de humedad. Se sabe que durante el acondicionamiento es posible eliminar semillas con daño físico severo, aunque en la fracción de semilla pura se puede llegar a tener semillas con fisuramiento ligero (Luedders y Burris, 1979; McDonald Jr., 1985).

Se observó (Cuadro 6), un incremento de daño mecánico aproximadamente de 3 % en la semilla obtenida en el Pm 3, después de que los lotes de semilla hicieron dos recorridos verticales (1) para llegar a la primera tolva de almacenamiento de la MAZ y (2) para la segunda tolva de almacenamiento de la MG. Resultados similares reportan Parde *et al.* (2002) quienes encontraron que el daño mecánico a la semilla de soya se incrementó en 2.9 % después del elevador vertical de cangilones.

En el análisis de varianza (Cuadro 5) se encontraron diferencias altamente significativas para la interacción variedades x contenido de humedad (Var x Ch). El máximo daño mecánico se obtuvo cuando la semilla tenía un contenido de humedad del 14 %, el valor promedio de las tres variedades fue de 11.83 %, mientras que con el 20 % de humedad se obtuvo tan solo el 6.97 % de daño mecánico en la muestra de semilla. Es importante destacar que en los dos contenidos de humedad la variedad Canario 107 fue la más susceptible al daño mecánico, seguida de Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro (Figura 5). Esta respuesta diferencial de las variedades puede estar en función del contenido de humedad de la semilla. Al respecto, Szwed y Lukaszuk (2007) concluyeron que existe un nivel óptimo de contenido de humedad en el que, bajo el efecto de las fuerzas de impacto se produce un mínimo de daño a las semillas, por ejemplo, en trigo es de aproximadamente de 25-28 %, mientras que para colza oscila de 11-15 %; 12-14 % es el mejor contenido de humedad para reducir al mínimo el daño mecánico en soya (Divsalar y Oskouie, 2011).

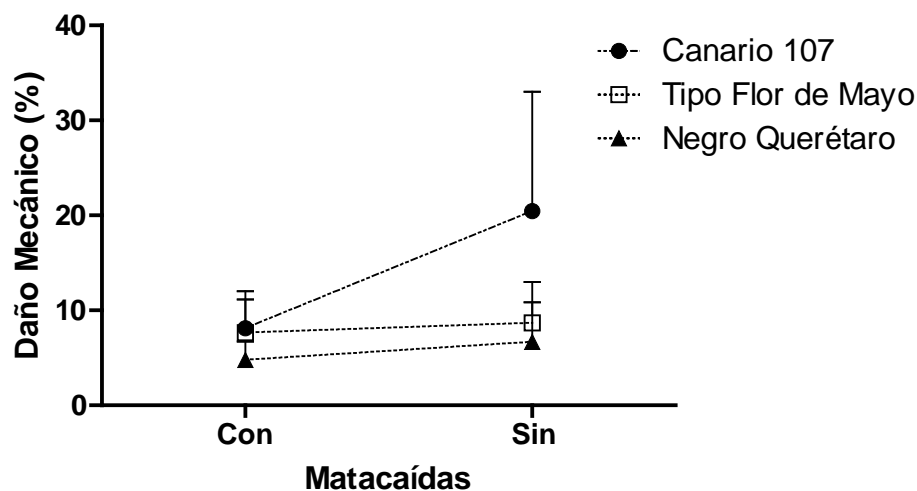


**Figura 5. Porcentaje de daño mecánico en tres variedades de frijol, trilladas con dos contenidos de humedad.**

La interacción variedades x matacaídas (Var x Mat), indicó que cada variedad responde de manera diferencial a los matacaídas utilizados para el beneficio de semillas (Cuadro 5). El daño mecánico en las semillas es menor cuando se usaron dos matacaídas (6.85 %), en comparación cuando se hace sin ellos (11.95 %)

(Figura 6). La diferencia en resultados puede estar relacionada con la velocidad a la cual viajan las semillas de cada variedad por la infraestructura utilizada. Al respecto, Khazaei (2009) indica que un incremento en la velocidad de impacto de 5 a 12 metros por segundo causó un aumento en el porcentaje de daño físico de 3.25 a 35.5 % en semillas de frijol.

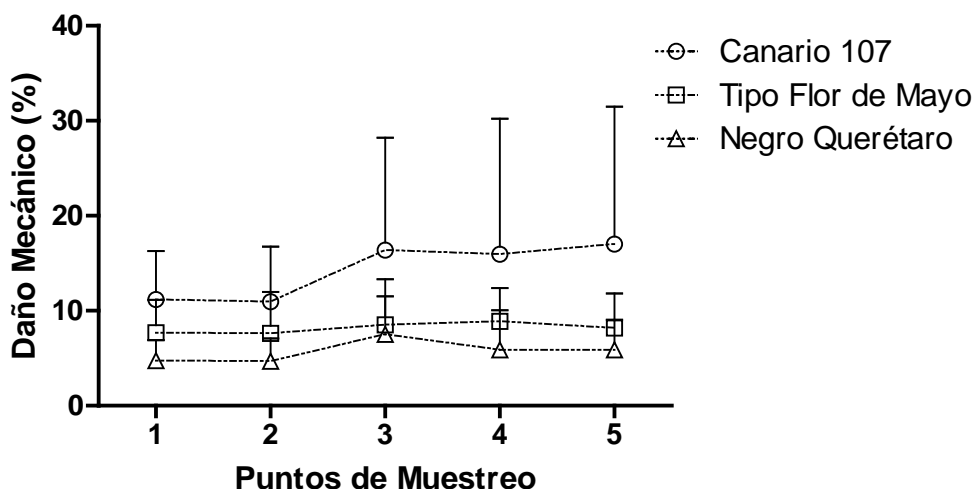
La variedad que sufrió más daño mecánico sin matacaídas fue la variedad Canario 107, seguido de Tipo Flor de Mayo y finalmente Negro Querétaro. Sin embargo, con dos matacaídas las tres variedades presentan un daño mecánico similar (Figura 6).



**Figura 6. Porcentaje de daño mecánico en tres variedades de frijol beneficiadas con y sin matacaídas.**

La interacción variedad x puntos de muestreo (Var x Pm) para la variable daño mecánico, presentó efectos altamente significativos (Cuadro 5). Canario 107 fue la variedad con mayor daño mecánico sin importar el punto donde se realizó la toma de muestra. Así, se tiene que los puntos de muestreo 1 y 2 presentaron el mismo porcentaje de daño mecánico, aunque era de esperarse que el Pm 2 fuera menor debido a que este se realizó después de la MAZ, en el Pm 3 el daño mecánico se hizo más evidente, ya que la toma de muestra se realizó una vez que la semilla pasó por el elevador hacia la mesa de gravedad (condición con y sin matacaídas), para el

Pm 4 se presentó una ligera disminución en el daño, debido a que este se realizó después de la MG, y finalmente en el Pm 5 se presentó un ligero aumento (Figura 7).

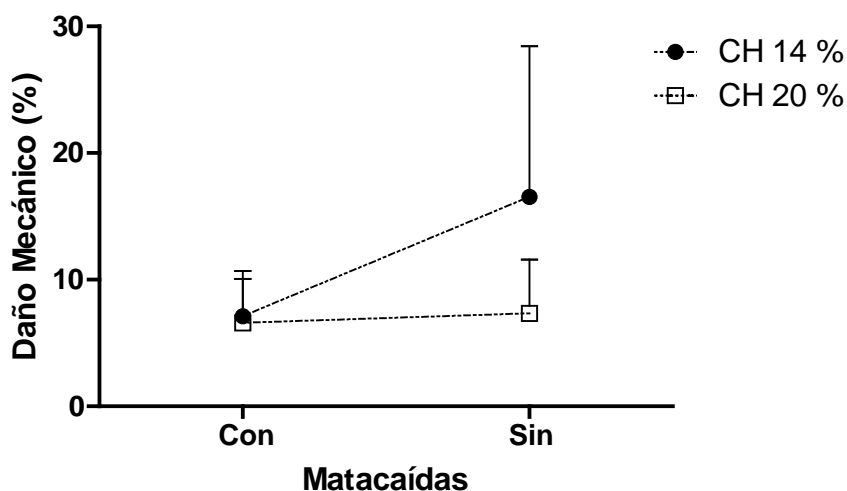


**Figura 7. Porcentaje de daño mecánico en tres variedades de frijol, muestreadas en cinco puntos durante el beneficio.**

Hubo efectos significativos en la interacción contenido de humedad x matacaídas (Ch x Mat) (Cuadro 5); se encontró que el menor daño mecánico ocasionado a la semilla de frijol (promedio 6.97 %), se obtuvo en las variedades que inicialmente fueron trilladas con un contenido de humedad de 20 % (Figura 8). Algunos autores como Bilanski y Lal (1965), observaron que la energía necesaria para fracturar semillas de maíz, trigo y soya se incrementó proporcionalmente al contenido de humedad. Al respecto, Mohsenin (1986) señala que 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.

El uso de dos matacaídas causa un menor daño mecánico a la semilla, por lo tanto, al analizar las posibles combinaciones, el mejor de los tratamientos fue un contenido de humedad del 20 % con dos matacaídas (Figura 8). Numerosos investigadores también han reportado resultados similares. Sosnowski (2006) llegó a la conclusión de que el porcentaje de daño físico en semillas de frijol disminuye a medida que aumentó el contenido de humedad de 15 a 25 %. Sin embargo, al incrementar el

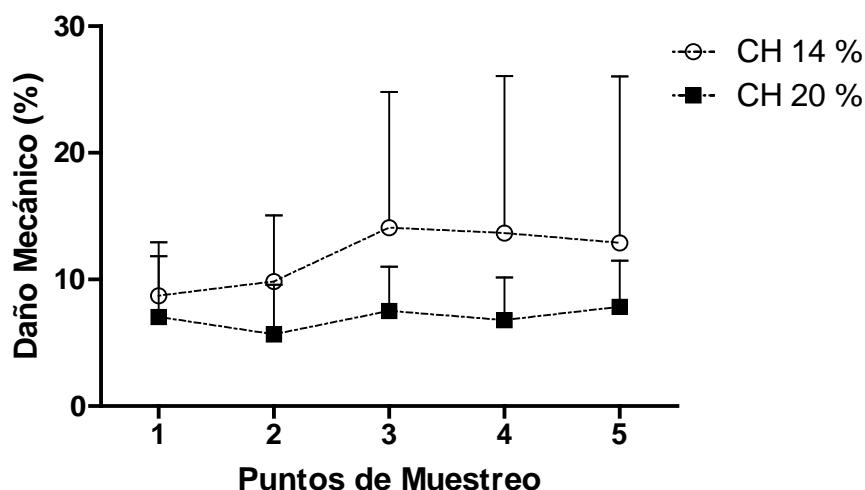
contenido de humedad de 25 al 29 %, se observó un incremento continuo en el porcentaje de daño físico. Khazaei (2009) informó que con el aumento del contenido de humedad del 5 al 15 %, los valores medios de porcentaje de granos dañados disminuyeron en 1.4 veces.



**Figura 8. Porcentaje de daño mecánico en semillas a dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.**

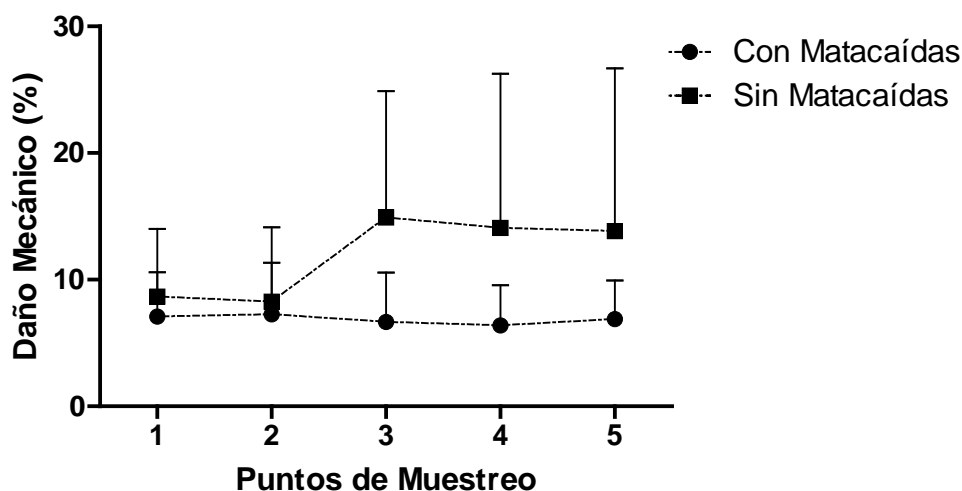
La interacción contenido de humedad x puntos de muestreo (Ch x Pm) fue altamente significativa (Cuadro 5), así se obtuvo que el menor daño mecánico en las semillas se presentó cuando la toma de muestra se realizó en los puntos de muestreo 1, 2 y 4 (Figura 9). El contenido de humedad de 20 % en la semilla, provocó el menor daño mecánico y además se mantuvo a través de su paso por la planta de beneficio, como era de esperarse los puntos de muestreo 2 y 4 fueron los que presentaron el menor daño. Por otra parte, la semilla con un contenido de humedad de 14 % fue la que mayor daño mecánico presentó, sin embargo, el daño aumentó del Pm 1 al Pm 3 y después de este disminuyó, lo cual no era de esperarse si se toma en cuenta que para llegar al Pm 5, es necesario pasar por un elevador, sin embargo, es importante resaltar que el daño mecánico sigue siendo mayor, que en la semilla con un 20 % de humedad (Figura 9). Almeida *et al.* (2004) observaron que semillas beneficiadas con contenido de humedad de 7.3 % son más susceptibles a la rotura provocada por los impactos, que las semillas procesadas con 13.5 %. Al respecto, Baryeh (2002)

observó que con un contenido de humedad de 10 % en frijoles “bambara”, el porcentaje de daño físico se incrementó de 10 a 33 % con una velocidad de impacto de 3 a 15 m/s, respectivamente.



**Figura 9. Porcentaje de daño mecánico en semillas con dos contenidos de humedad en cinco puntos de muestreo.**

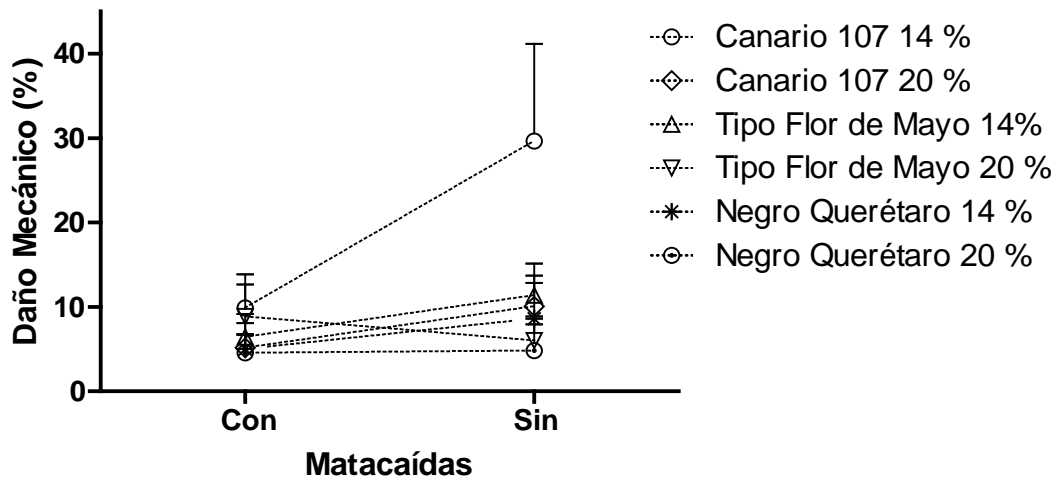
La interacción puntos de muestreo con matacaídas (Mat x Pm) presentó diferencias altamente significativas (Cuadro 5). El menor daño mecánico se obtuvo en las variedades cuando en la línea de flujo se utilizaron matacaídas, este efecto de un menor daño se mantiene a través de su paso por la planta de beneficio, caso contrario cuando no se hace uso de matacaídas (Figura 10). Los resultados mostrados se pueden atribuir a la energía de impacto recibida por cada variedad de frijol con y sin matacaídas utilizados. Shahbazi *et al.* (2011) encontraron que con un aumento en la energía de impacto de 0.09 a 0.29 J, el valor medio del porcentaje de daño físico en la semilla de frijol pinto se incrementó desde 48.14 hasta 63.40 %.



**Figura 10. Porcentaje de daño mecánico en semillas beneficiadas con y sin matabacáidas en cinco puntos de muestreo.**

El daño mecánico sufrido por la semilla en la interacción de los factores variedad x contenido de humedad x matabacáidas (Var x Ch x Mat) tuvo efectos altamente significativos (Cuadro 5); el contenido de humedad tuvo un efecto notable, ya que en las tres variedades, las semillas obtenidas en trilla al 20 % presentaron los niveles más bajos de daño mecánico con un promedio para las tres variedades de 6.57 %. Mientras que semillas con un contenido de humedad de 14 % presentaron un daño de 11.83 %. Canario 107 presentó un aumento en daño a un contenido de humedad del 14 % pasando por dos matabacáidas, mientras que sin matabacáidas el daño fue 19.75 %. Por otra parte, el Tipo Flor de Mayo presentó un comportamiento inconsistente en lotes de semilla trillados a 20 % de humedad, al mostrar un daño inferior sin usar matabacáidas, mientras que al utilizar dos matabacáidas el daño se incrementó en 2.85 %. El daño mecánico obtenido en todas las combinaciones de los tres factores, presentaron los niveles más bajos, cuando la semilla fue beneficiada con dos matabacáidas a un contenido de humedad de 20 % a excepción de la variedad Tipo Flor de Mayo. Cabe destacar que las tres variedades mostraron un comportamiento similar al aumentar el porcentaje de daño, cuando se benefician sin matabacáidas y al 14 % de humedad (Figura 11).





**Figura 11. Porcentaje de daño mecánico en tres variedades de frijol a dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.**

Los niveles de daño mecánico en relación con la interacción de los factores variedades x contenido de humedad x puntos de muestreo (Var x Ch x Pm) presentó efectos altamente significativos (Cuadro 5); lo cual indica que el contenido de humedad contribuye en gran medida en la presencia de daño mecánico en las semillas, ya que en las tres variedades, la semilla trillada con un contenido de humedad de 14 % presentó el mayor daño (Figura 12). En la variedad Canario 107 se obtuvo el mayor daño en todos los puntos de muestreo a un contenido de humedad de 14 %, resultados similares fueron observados en las otras dos variedades. En las tres variedades el daño mecánico de las semillas se presentó en el punto de muestreo 3, y los otros cuatro puntos se mantuvieron intermedios. Cabe destacar que el menor porcentaje de daño mecánico se registró en el punto de muestreo dos. En algunos casos el daño mecánico aumentó en el punto de muestreo 5 (20 % de humedad), esto probablemente esté relacionado a que la semilla va acumulando el daño ocasionado por el impacto, una vez que entra a los elevadores y llega a las tolvas de almacenamiento.

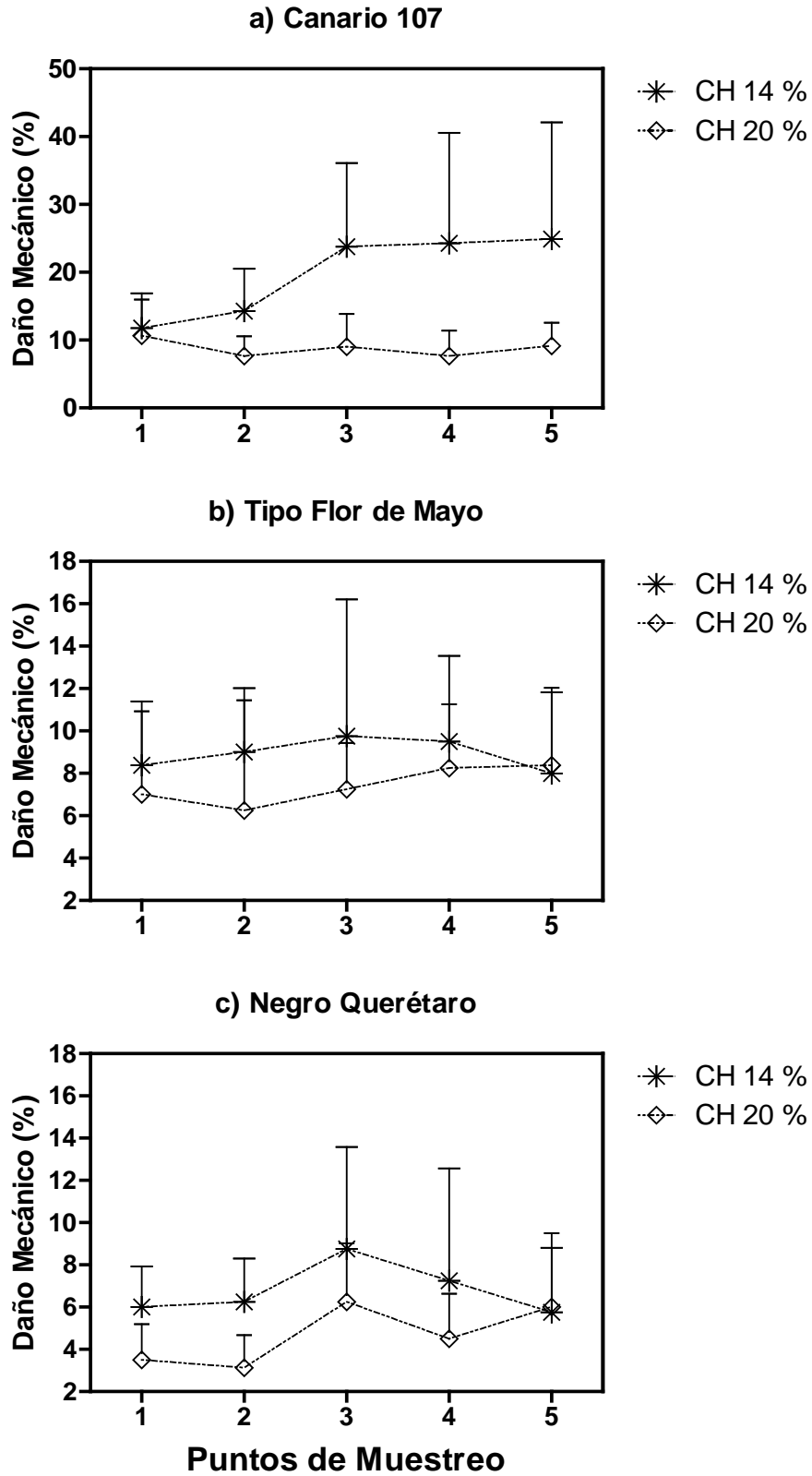


Figura 12. Porcentaje de daño mecánico en semillas de tres variedades de frijol con dos contenidos de humedad, en cinco puntos de muestreo.

Lo anterior se podría explicar si tomamos en cuenta que se partió de lotes con un daño superior y que en la MAZ y MG se eliminan semillas con un peso inferior al de la semilla pura, pero además, la semilla que inicialmente ya viene dañada (Pm 1) se vuelve a dañar cuando pasa a través de los elevadores (Pm 3 y 5); resultados similares obtuvieron Almeida *et al.* (2004) quienes encontraron que la intensidad del daño mecánico se incrementa con el número de pasos de la semilla a través de las diferentes etapas de la planta beneficiadora de semillas, lo que demuestra el carácter acumulativo, que indica que existe una relación directa entre el número de choques y sus efectos.

El daño mecánico de las semillas durante el procesamiento de los lotes en la interacción de los tres factores (Ch x Mat x Pm) fue altamente significativa para daño mecánico (Cuadro 5). Los matacaídas utilizados para el beneficio presentó un efecto notable, los menores niveles de daño se tuvieron en las variedades beneficiadas con dos matacaídas (6.58 %), así como el aumento de daño ocasionado a la semilla en el Pm 3, cuando se trilla con 14 % de humedad y es beneficiada sin matacaídas (Figura 13).

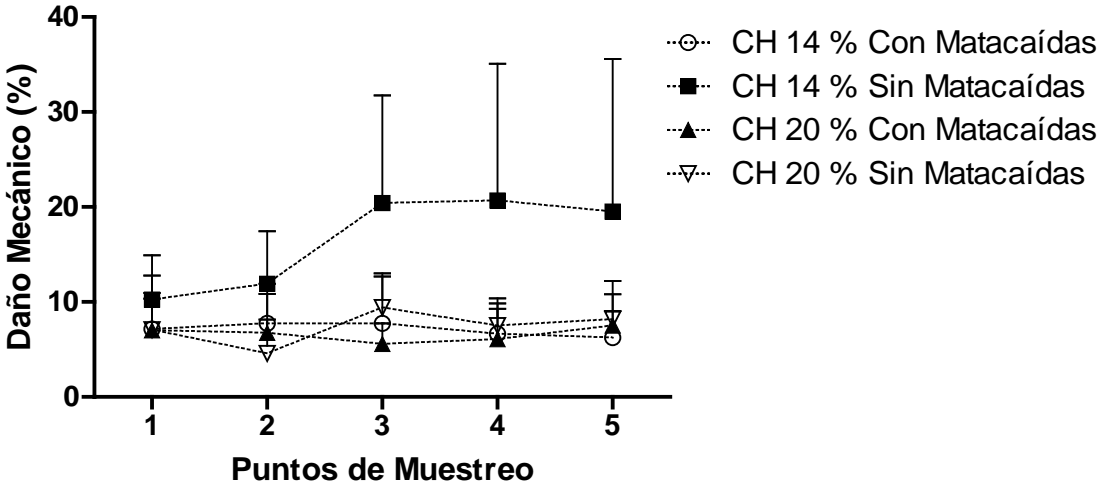


Figura 13. Porcentaje de daño mecánico en semillas beneficiadas con dos contenidos de humedad y con y sin matacaídas en cinco puntos de muestreo.

La interacción de los cuatro factores (Var x Ch x Mat x Pm) resultó altamente significativa para daño mecánico, lo que indica una respuesta diferencial de las tres variedades de frijol a los factores Var, Ch, Mat y Pm (Cuadro 5). En las tres variedades se puede observar que con un contenido de humedad de 14 %, se ocasiona el mayor daño mecánico cuando la semilla es beneficiada sin matacaídas. Mientras que semillas beneficiadas sin matacaídas a un contenido de humedad de 20 %, las tres variedades presentaron un daño mecánico promedio de 7.35 %. Las variedades Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro muestran comportamientos similares cuando son beneficiadas al 14 % sin matacaídas, ya que el porcentaje de daño tiende a disminuir después del Pm 3, mientras que la variedad Canario 107 tiende a aumentar (Figura 14).

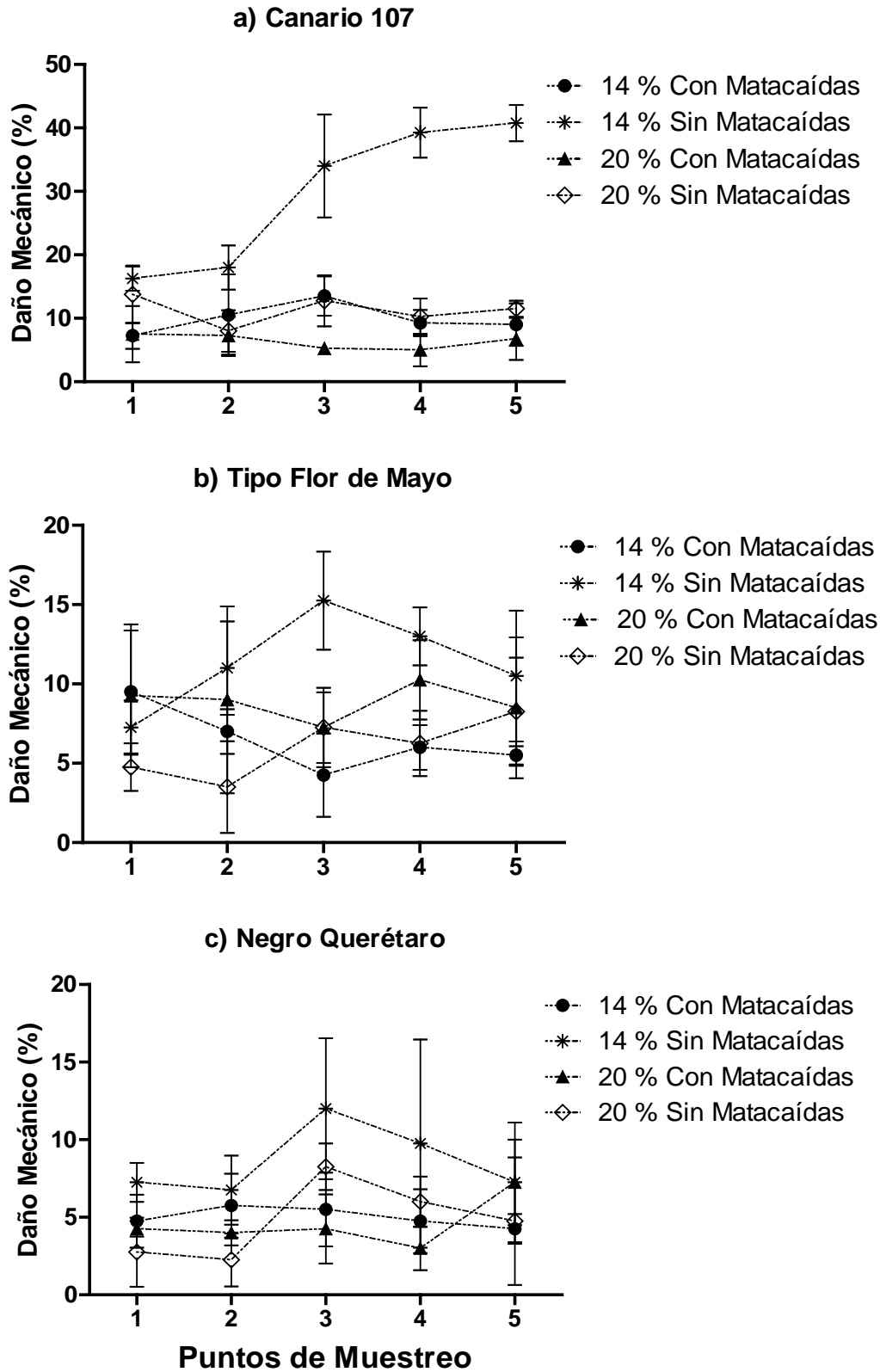


Figura 14. Comportamiento del daño mecánico en tres variedades de frijol respecto a la interacción de los cuatro factores.

#### 4.1.3.2. Germinación

En el análisis de varianza (Cuadro 5), para el factor variedades se muestran diferencias estadísticas altamente significativas. El comportamiento medio de las variedades indicó que el mayor porcentaje de germinación (plántulas normales) se tuvo en la variedad Negro Querétaro, seguido de Canario 107 y finalmente Tipo Flor de Mayo (Cuadro 7). Los bajos porcentajes de germinación registrados en las variedades pudieron verse afectados desde un inicio por la trilla mecánica que se aplicó a los lotes de semilla. Al respecto, Prakobboon (1982) en semillas de soya reportó que con trilla manual la germinación fue satisfactoria respecto a las semillas trilladas con garrote y máquina. En el mismo sentido Kannenberg y Allard (1964) señalan que la cubierta de semillas blancas brinda menor protección al embrión que la que ofrecen semillas de tegumentos coloreados. Así el material dañado evidencia alteraciones de membranas celulares, cambios a nivel de ácidos nucleicos y reducciones en las actividades enzimáticas, las que conducen a una germinación más lenta, menor tasa de crecimiento, incremento en el número de plántulas anormales y finalmente pérdida del poder germinativo.

Hubo diferencias significativas para contenido de humedad (Cuadro 5). El contenido de humedad de 20 % fue el que generó el mayor porcentaje de germinación en las tres variedades de frijol (Cuadro 7). Resultados que pueden estar relacionados con el momento de la realización de la cosecha de la semilla. Al respecto, George *et al.* (2003), encontraron que los menores porcentajes de germinación se obtuvieron cuando la cosecha se efectuó antes de la madurez fisiológica; así mismo Moes y Vyn (1988) observaron el mayor daño mecánico en semillas cosechadas con alto contenido de humedad.

Cabe señalar que el uso de dos matacaídas durante el beneficio fue el que más favoreció al porcentaje de germinación (Cuadro 7).

En cuanto a los puntos de muestreo, se encontró que el porcentaje de germinación inicial de la muestra fue de 84.7 %, aumenta en el Pm 2 como era de esperarse, si tenemos en cuenta que se realizó en la salida de la MAZ, que elimina material de menor peso que la semilla pura (86.8 %); estos resultados concuerdan con lo encontrado por Parde *et al.* (2002) quienes reportan que la máquina de aire y zarandas mejora la germinación de los lotes de semilla en 1.8 %.

**Cuadro 7. Porcentaje de germinación para los factores y niveles que fueron significativos.**

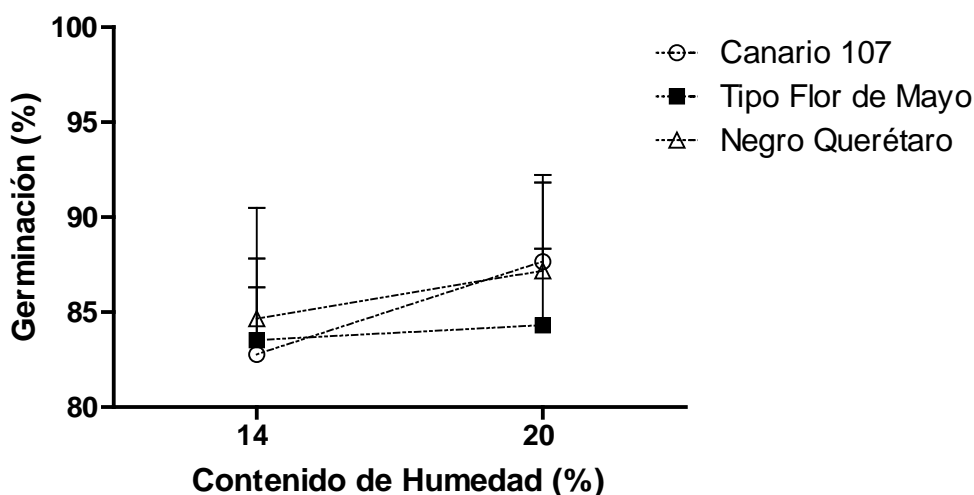
Factor	Germinación
<b>Variedad</b>	
Negro Querétaro	85.9125 a
Canario 107	85.2125 ba
Tipo Flor de Mayo	83.9125 b
	DSM 0.5= 1.4746
<b>Contenido de humedad</b>	
20%	86.375 a
14%	83.650 b
	DSM 0.5= 1.0053
<b>Matacaídas</b>	
Con matacaídas	86.1583 a
Sin matacaídas	83.8667 b
	DSM 0.5= 1.0053
<b>Punto de muestreo</b>	
Pm 2	86.8125 a
Pm 4	85.2083 ba
Pm 1	84.6875 ba
Pm 3	84.6042 ba
Pm 5	83.75 b
	DSM 0.5= 2.2198

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales al 0.05 % de probabilidad. Pm 1 = 1ra tolva de almacenamiento, Pm 2 = después de la MAZ, Pm 3 = después del elevador y antes de la MG, Pm 4 = después de la MG y Pm 5 = después de la tratadora.

En el Pm 3 disminuyó la germinación (84.6%) y presentó un ligero aumento en el Pm 4 (85.2 %), una vez que el lote de semilla pasó por la MG para finalmente obtener semilla con un 83.8 % de germinación (Cuadro 7). Lo anterior deja ver de manera clara que la germinación tiende a disminuir gradualmente a medida que el lote de semillas avanza en su recorrido por la planta de beneficio. Lo anterior es respaldado por Vieira *et al.* (1994), quienes mencionan que en soya, el transporte por medio de un sistema de elevadores provoca daños profundos y superficiales que afectan directamente la germinación o causan efectos latentes, que reducen el vigor de las

semillas y el potencial de almacenamiento, particularmente cuando el contenido de humedad en la semilla es bajo.

En la interacción variedad x contenido de humedad (Var x Ch) la variable porcentaje de germinación fue significativa ( $P \leq 0.01$ ) (Cuadro 5). El contenido de humedad que menos afectó a la variable germinación fue cuando las variedades se trillaron previamente con 20 %, con un promedio de 86.4 % para las tres variedades, sin embargo, tiende a disminuir cuando son trilladas con 14 % de humedad a 83.7 %. Las variedades Negro Querétaro (87.2 %) y Canario 107 (87.7 %) fueron las que tuvieron el mayor porcentaje de germinación cuando el contenido de humedad fue de 20 %, mientras que el Tipo Flor de Mayo presentó la menor germinación (84.3 %), es importante señalar que las tres variedades presentaron un porcentaje de germinación similar a un 14 % de humedad (Figura 15).

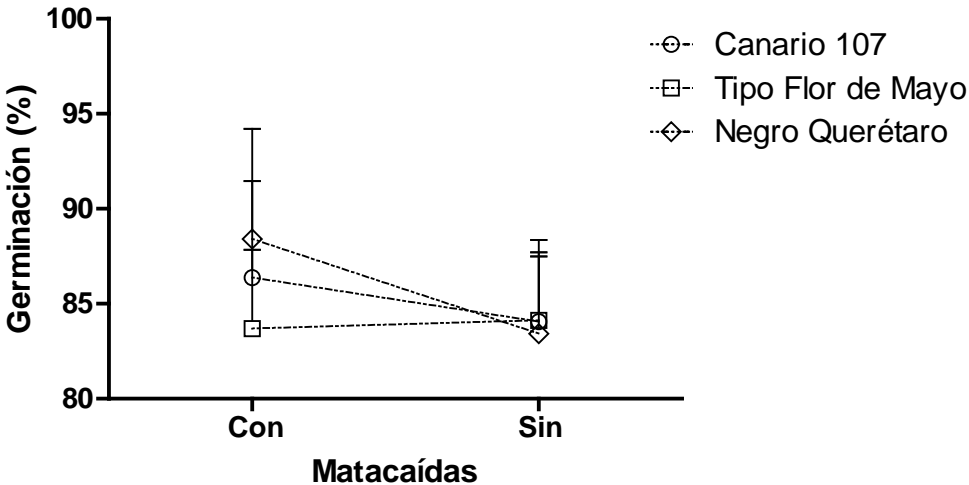


**Figura 15. Porcentaje de germinación de tres variedades de frijol, trilladas en dos contenidos de humedad.**

La interacción variedad x matacaídas (Var x Mat) presentó efectos altamente significativos (Cuadro 5). El máximo porcentaje de germinación se obtuvo en las variedades beneficiadas con dos matacaídas, con un promedio de 86.2 %, mientras que, sin matacaídas fue de 83.9 %. La interacción de ambos factores deja ver que la



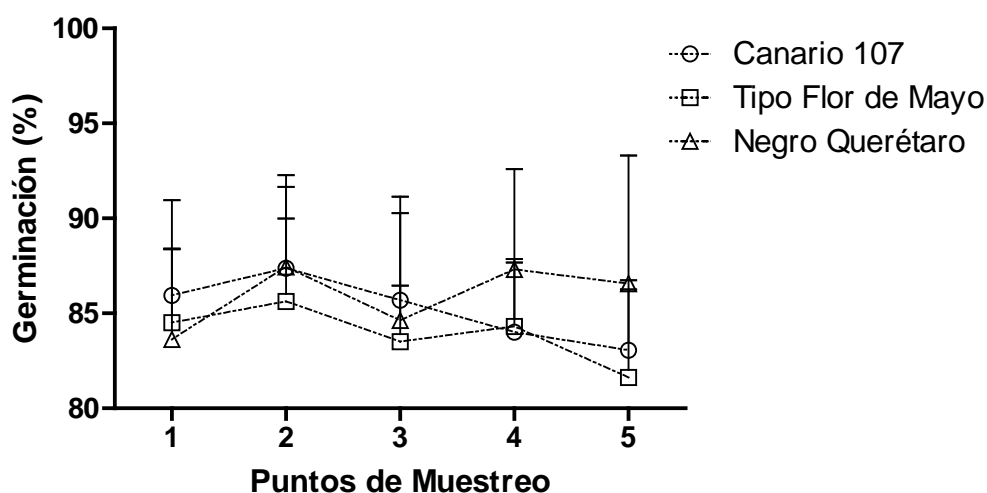
variedad más afectada con y sin matacaídas fue Tipo Flor de Mayo (Figura 16). Los resultados obtenidos pueden estar en función de la fuerza de impacto dado a cada variedad durante el recorrido de las semillas por la infraestructura de la planta de beneficio. Al respecto, Sosnowski (2006) encontró que la capacidad de germinación de las semillas de frijol se redujo desde el 90 % en la velocidad de impacto de 6.44 m/s a 58 % en la velocidad de impacto de 13 m/s.



**Figura 16. Porcentaje de germinación de tres variedades de frijol, beneficiadas con y sin matacaídas.**

Hubo efectos altamente significativos en la interacción variedad por punto de muestreo (Var x Pm) (Cuadro 5).

La máxima germinación en las variedades se presentó en el Pm 2 y Pm 4. La variedad Canario 107 después del Pm 2 tiende a disminuir hasta en un 5 % su germinación, en tanto que, las variedades Negro Querétaro y Tipo Flor Mayo aumentan su germinación en Pm 2 y Pm 4, al final del recorrido en la planta de beneficio, las variedades tienden a disminuir su germinación, lo que se puede asociar a una acumulación de daño que se refleja de manera directa en el porcentaje de germinación (Figura 17).

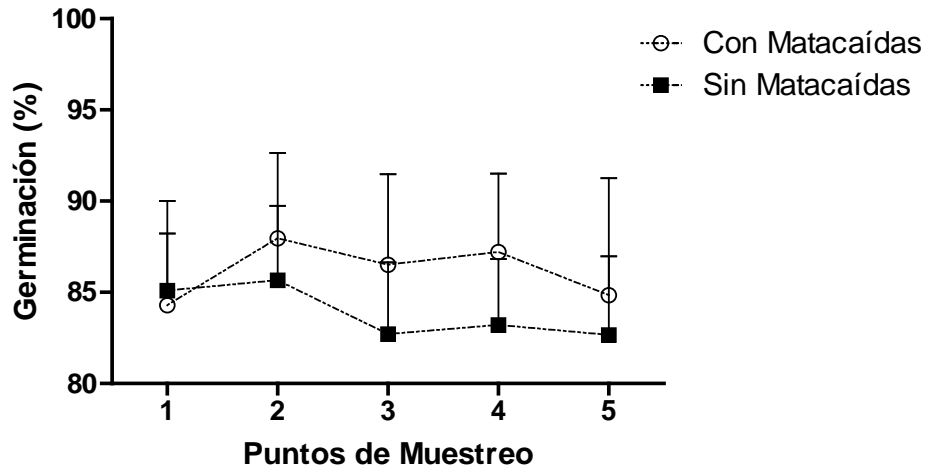


**Figura 17. Porcentaje de germinación de tres variedades de frijol en cinco puntos de muestreo.**

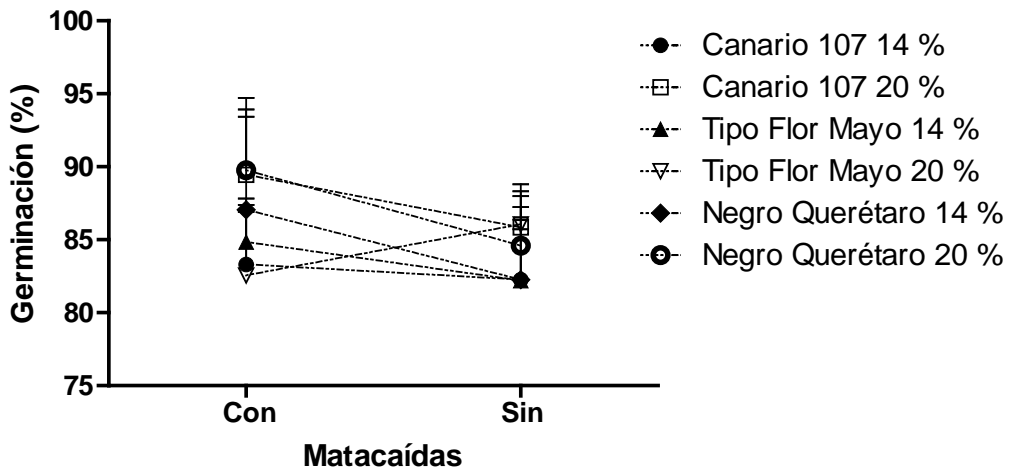
La interacción de los factores matacaídas x puntos de muestreo (Mat x Pm) ejercieron efectos altamente significativos en la variable porcentaje de germinación (Cuadro 5). Se encontró que de los cinco puntos de muestreo, las semillas obtenidas en Pm 2 y Pm 4 fueron las que mayor germinación presentaron cuando se usaron matacaídas, mientras que sin el uso de matacaídas la germinación se mantuvo constante después del Pm 3 (Figura 18). Algunos autores relacionan la pérdida de germinación con el material sobre el cual cae la semilla y la altura a la cual lo hace, en este sentido Parde *et al.* (2002) observaron una disminución del porcentaje de germinación de 10 y 31 %, cuando las semillas de soya caen desde una altura de 1 y 2 m, respectivamente, sobre un suelo de cemento; también señalan que cuando las semillas cayeron de la misma altura en un piso de hierro galvanizado, la germinación disminuyó en 7.5 y el 22 %, respectivamente.

La germinación de las semillas en la interacción de los factores Var x Ch x Mat presentó efectos altamente significativos (Cuadro 5). Los matacaídas utilizados para el procesamiento jugaron un papel importante, así que el mayor porcentaje de germinación se logró cuando la semilla fue procesada con matacaídas (Figura 19). Mientras que con el procesamiento de la semilla sin matacaídas, se observó una

pérdida de germinación del 2 %, en comparación con la semilla beneficiada usando matacaídas.



**Figura 18. Porcentaje de germinación en semillas de frijol beneficiadas con y sin matacaídas en cinco puntos de muestreo.**



**Figura 19. Porcentaje de germinación de tres variedades de frijol, trilladas a dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.**

La variedad Tipo Flor de Mayo a un contenido de humedad de 20 % y beneficiada sin matacaídas, presentó el mayor porcentaje de germinación, a diferencia del resto de las variedades que presentaron el mismo resultado, pero con matacaídas.

## 4.2. Análisis de Calidad fisiológica en microtúnel

### 4.2.1. Análisis simple

En el Cuadro 8, se aprecia que existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), en los tratamientos para la variable IVE. El tratamiento que mostró el mejor comportamiento fue el 25, que se formó al combinar la variedad Tipo Flor de Mayo y un 14 % en el Pm 1 (Cuadro 8A). Además, el análisis permitió agrupar a los tratamientos 16, 12 y 23 como los de mayor índice de velocidad de emergencia en la variedad Canario 107; por otra parte, los tratamientos 48, 49, 57 y 60 tuvieron el menor índice de velocidad de emergencia en la variedad Negro Querétaro, que fue la que presentó el menor número de plantas emergidas por día (Cuadro 8A).

Para la variable altura de plántula hubo diferencias altamente significativas (Cuadro 8). Se encontró que las plántulas que presentaron la mayor altura, fueron las del tratamiento 41 (Cuadro 8A); que corresponde a la variedad Negro Querétaro, trillada con un contenido de humedad de 14 %, beneficiada con matacaídas y muestreada en el Pm 1, respectivamente.

En relación a la variable peso seco, hubo diferencias altamente significativas (Cuadro 8); el tratamiento que presentó el mejor comportamiento fue el 16, en la variedad Canario 107 trillada a un 14 % de humedad de la semilla, beneficiada con matacaídas y muestreada en el Pm 1. De igual manera, el análisis permitió observar que los tratamientos que presentaron el menor peso seco por plántula correspondió a la variedad Negro Querétaro y Canario 107 con los tratamientos 32, 25, 47 y 22 (Cuadro 8A).

**Cuadro 8. Cuadros medios y significancia estadística para las variables de calidad fisiológica de tres variedades de frijol.**

F. de V	G.L	IVE	ALT	PS
Blo	3	0.8813189*	12.0128937**	0.00047486
Tratamiento	59	4.5758334**	2.6548104**	0.00137578**
Error	177	0.2682432	0.5667135	0.00029690
Total	239			
CV		8.612416	6.230152	10.35651

## 4.2.2. Análisis factorial

### 4.2.2.1 Índice de velocidad de emergencia

Se observaron efectos altamente significativos para el factor variedades (Var) en índice de velocidad de emergencia (Cuadro 9). Las variedades usadas presentaron diferencias estadísticas en el índice de velocidad de emergencia (IVE), así tenemos que la variedad Negro Querétaro presentó la menor velocidad de emergencia con 4.5 plántulas/día, mientras que no existieron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) entre la variedad Canario 107 y la variedad Tipo Flor de Mayo (Cuadro 10). Algunos autores como Dhillon y Kler (1976) y Suguna *et al.* (1985), afirman que semillas de mayor tamaño tienen ventaja, en la emergencia, sobre las semillas pequeñas cuando son sembradas a mayor profundidad. En el mismo sentido, Soltani *et al.* (2006) mencionan que, el retardo en la emergencia puede reducir la cantidad de plántulas que emergen, ya que se incrementa la oportunidad de que la semilla y la plántula sean invadidas por patógenos del suelo. Pero además, la diferencia en el IVE, puede estar relacionada con factores externos a la semilla, como duración de la prueba, temperatura, humedad y de manera particular la calidad inicial de la semilla.

Los resultados obtenidos muestran que el IVE tiende a disminuir de acuerdo al genotipo empleado. Esta misma situación se pudo observar que en microtúnel al momento de la emergencia, Canario 107 presentó un ciclo de crecimiento más rápido, que las variedades Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro.

El beneficio de la semilla con y sin matacaídas, en las tres variedades presentó diferencias estadísticas en cuanto al IVE, el mayor número de plántulas emergidas por día, se observó con el uso de 2 matacaídas (Cuadro 10). Sánchez *et al.* (2001) menciona que, el resultado obtenido puede ser atribuido a que las semillas que son más afectadas durante la trilla reducen más su vigor con el paso del tiempo. Pero además, semillas que reciben una mayor fuerza de impacto, pueden dañarse internamente, por lo que al momento de la imbibición estas tomarán mayor tiempo para realizar dicha fase.

**Cuadro 9. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables de calidad física.**

F. de V	G.L	IVE	ALT	PS
Blo	3	0.8813189*	12.01289373**	0.00047486
Var	2	121.02565**	40.5589291**	0.02412875**
Ch	1	0.0858817	0.00942507	0.00084375
Mat	1	3.7101067**	25.2357291**	0.00408375**
Pm	4	0.7413819*	0.65835594	0.00020479
Var x Ch	2	1.1875679*	1.65811707	0.00146375**
Var x Mat	2	0.7821829	7.55436507**	0.00349625**
Var x Pm	8	0.2279291	0.75312282	0.0000751
Ch x Mat	1	0.159135	0.7634304	0.00126042*
Ch x Pm	4	0.5840285	0.50702611	0.00039896
Mat x Pm	4	0.2889556	0.02620719	0.00015562
Var x Ch x Mat	2	2.7678037**	1.9850744*	0.00213292**
Var x Ch x Pm	8	0.1808539	0.94192123	0.00054865
Ch x Mat x Pm	4	0.1251923	0.72203436	0.00007396
Var x Ch x Mat x Pm	16	0.266509	0.36858828	0.00026354
Error	177	0.2682432	0.5667135	0.00029690
Total	239			
CV		8.612416	6.230152	10.35651

\* = Significancia estadística a P ( $\alpha \leq 0.05$ ); \*\* = Significancia estadística a P ( $\alpha \leq 0.01$ ); Var = Variedad; Ch = Contenido de humedad; Mat = Matacaídas; Pm = Punto de muestreo y Cv = Coeficiente de variación.

**Cuadro 10. Promedios de la variable índice de velocidad de emergencia en los factores y niveles que fueron significativos.**

Factor	IVE (plántulas emergidas/día)
<b>Variedad</b>	
Tipo Flor de Mayo	6.76213 a
Canario 107	6.68475 a
Negro Querétaro	4.59413 b
	DSM 0.5 = 0.1936
<b>Contenido de humedad</b>	
20%	6.03258 a
14%	5.99475 a
	DSM 0.5 = 0.1320
<b>Matacaídas</b>	
Con matacaídas	6.13800 a
Sin matacaídas	5.88933 b
	DSM 0.5 = 0.1320
<b>Punto de muestreo</b>	
Pm 1	6.1604 a
Pm 2	6.0640 ba
Pm 5	6.0477 ba
Pm 3	5.9683 ba
Pm 4	5.8279 b
	DSM 0.5 = 0.2914

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales al 0.05 % de probabilidad. Pm 1 = 1ra tolva de almacenamiento, Pm 2 = después de la MAZ, Pm 3 = después del elevador y antes de la MG, Pm 4 = después de la MG y Pm 5 = después de la tratadora.

No se observó de manera clara cuál de los puntos de muestreo es mejor que otro (Cuadro 10), con un nivel de significancia ( $P \leq 0.05$ ), era de esperarse que Pm 2 y Pm 4 presentaran el mayor índice de velocidad de emergencia, ya que es en estos dos puntos donde se localizaban máquinas cuya función es mejorar la calidad tanto física como fisiológica, eliminando semillas con daño mecánico notorio.

Sin embargo, el IVE disminuye mientras el lote de semillas sigue su recorrido por la planta de beneficio, excepto para el Pm 5 (Cuadro 10). Lo anterior se puede explicar en el sentido de que las semillas una vez que ingresan a la planta de beneficio, son sometidas a un gran número de máquinas que presentan movimientos abrasivos, lo que de manera directa va disminuyendo su vigor.

Hubo efectos significativos para la interacción variedades x contenido de humedad (Var x Ch) (Cuadro 9). Se observó que el máximo índice de velocidad de emergencia se obtuvo en las variedades trilladas con un contenido de humedad de 20 %, también se puede observar una respuesta diferencial de las variedades Tipo Flor de Mayo y Canario 107, dependiendo del contenido de humedad al que fueron trilladas, estas dos variedades presentaron el mayor IVE, mientras que la variedad Negro Querétaro no presentó diferencias en ambos contenidos de humedad (Figura 20). Moore *et al.* (1995) mencionan que puede ocurrir daño interno por aplastamiento de los cotiledones o partes del eje embrionario, que podría manifestarse como una reducción acelerada del vigor con el envejecimiento natural de la semilla durante el almacenamiento.

Para la interacción variedades x contenido de humedad x matacaídas (Var x Ch x Mat), se encontraron efectos altamente significativos para índice de velocidad de emergencia (Cuadro 9). En las tres variedades, los matacaídas jugaron un papel importante en la expresión de IVE, ya que se observó que en las variedades Canario 107 y Negro Querétaro trilladas con 20 y 14 % de humedad, beneficiadas sin matacaídas disminuye su IVE. El mismo comportamiento lo presentó la variedad Tipo Flor de Mayo a un 14 % de humedad, a excepción del contenido de humedad de 20

%, que presenta un aumento en la velocidad de emergencia, aun cuando el lote de semillas se benefició sin matacaídas (Figura 21).

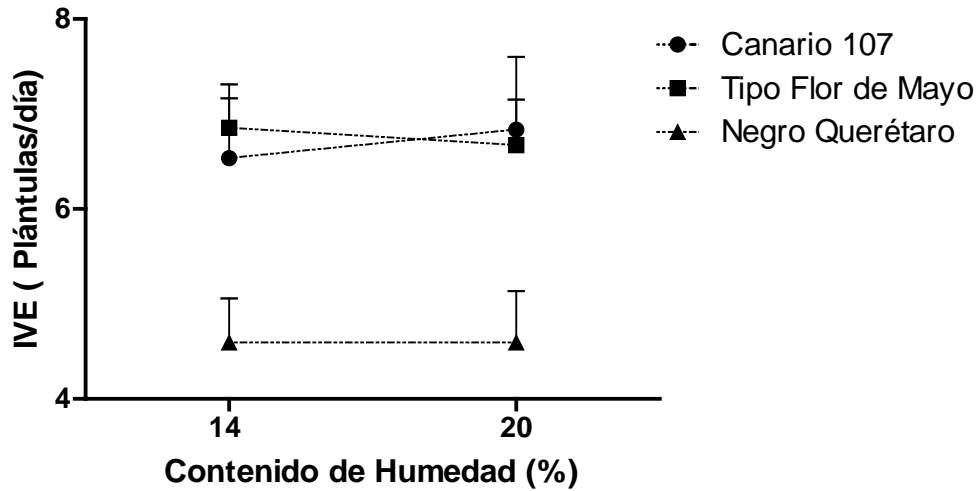


Figura 20. Índice de velocidad de emergencia en tres variedades de frijol, trilladas bajo dos contenidos de humedad.

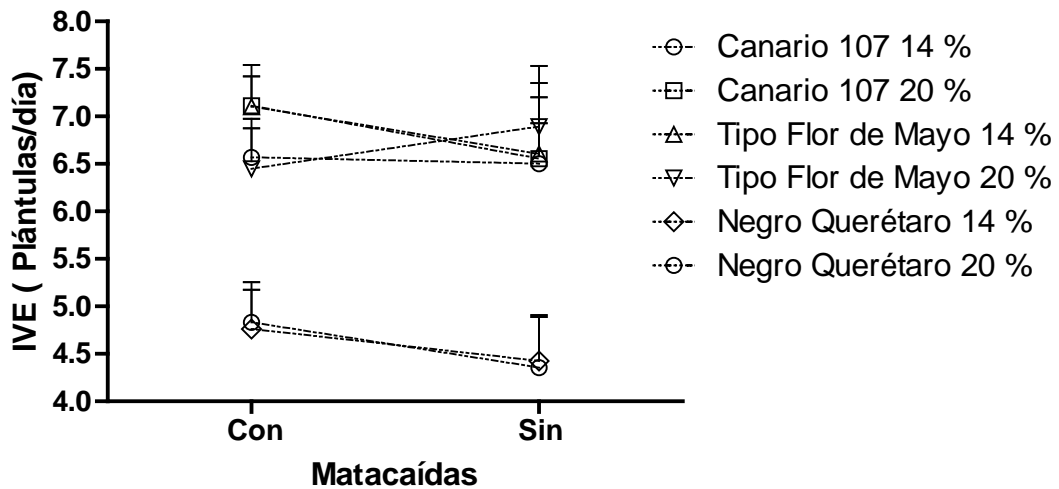


Figura 21. Índice de velocidad de emergencia en tres variedades de frijol, trilladas bajo dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.



#### 4.2.2.2 Altura de plántula

Para altura de plántula, el factor variedades presentó diferencias altamente significativas (Cuadro 9). Los resultados obtenidos muestran que el factor variedades influye en la altura de plántula. La variedad Tipo Flor de Mayo presentó la menor altura con un promedio de 11.26 cm, mientras que no hubo diferencia estadística entre las variedades Canario 107 y Negro Querétaro (Cuadro 11). Se ha sugerido que las semillas más grandes, en virtud de un mayor tamaño de embrión y cantidad de reservas, dan como resultados plántulas con mayor longitud de tallo y mayor área foliar (Heydecker, 1972). Cabría esperarse que las diferencias en altura de plántula estuvieran relacionadas directamente con el desarrollo del área foliar. Ross y Lembi (1999) señalaron que las primeras plántulas que emergen disponen de más agua, nutrientes y luz. Así también, las primeras plántulas están expuestas a condiciones más favorables para su crecimiento, ocurriendo que pudieran interferir negativamente en el crecimiento de las plántulas que emergen después de ellas.

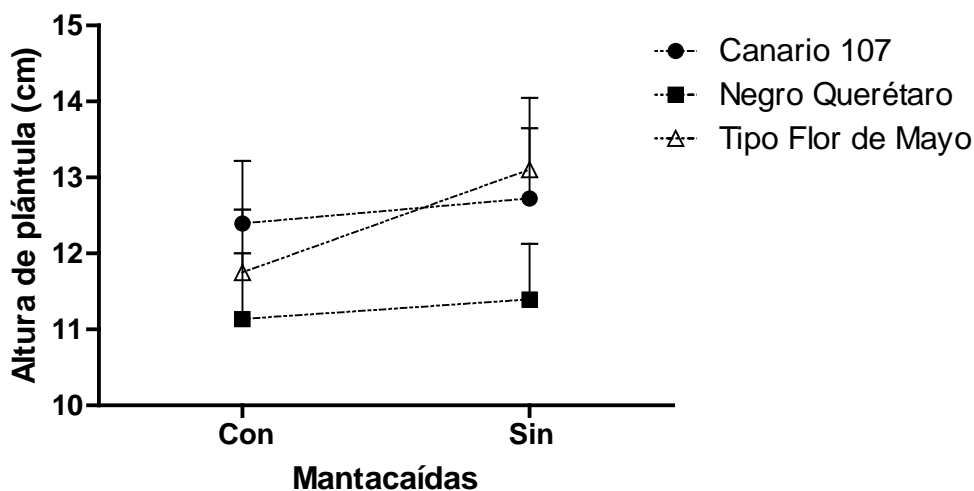
**Cuadro 11. Promedios de la variable altura de plántula para los factores y niveles que fueron significativos.**

Factor	Altura (cm/plántula)
<b>Variedad</b>	
Canario 107	12.5595 a
Negro Querétaro	12.4255 a
Tipo Flor de Mayo	11.2647 b
	DSM 0.5= 0.2813
<b>Contenido de humedad</b>	
20%	12.08950 a
14%	12.07697 a
	DSM 0.5= 0.1918
<b>Matacaídas</b>	
Sin matacaídas	12.40750 a
Con matacaídas	11.75897 b
	DSM 0.5= 0.1918
<b>Punto de muestreo</b>	
Pm 3	12.1535 a
Pm 1	12.1406 a
Pm 5	12.1378 a
Pm 2	12.1083 a
Pm 4	11.8758 a
	DSM 0.5= 0.4235

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales al 0.05 % de probabilidad. Pm 1 = 1ra tolva de almacenamiento, Pm 2 = después de la MAZ, Pm 3 = después del elevador y antes de la MG, Pm 4 = después de la MG y Pm 5 = después de la tratadora.

Altura de plántula fue influenciada directamente por los matacaídas utilizados durante el beneficio de la semilla, ya que pasando la semilla sin matacaídas se obtuvo la mayor altura de plántula a diferencia de cuando se pasó la semilla con matacaídas (Cuadro 11).

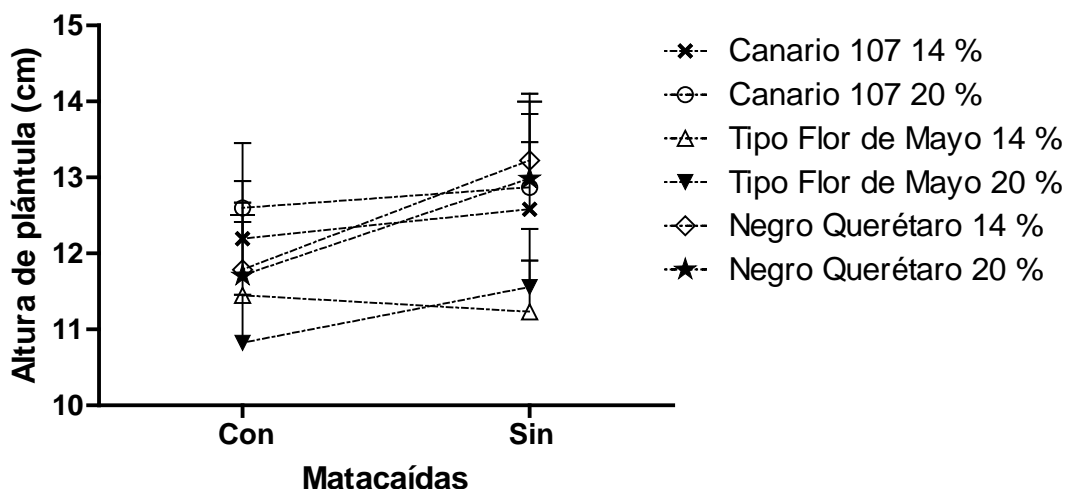
La interacción variedad x matacaídas (Var x Mat) en la determinación de la altura de plántula de frijol ejerció efectos altamente significativos (Cuadro 11). La variedad Canarias 107 presentó la mayor altura, seguida de Tipo Flor de Mayo y finalmente Negro Querétaro sin usar matacaídas (12.72, 11.39 y 13.10 cm, respectivamente), mientras que la altura disminuyó cuando la semilla hizo un recorrido con dos matacaídas (Figura 22).



**Figura 22. Altura de plántula de tres variedades de frijol, beneficiadas con y sin matacaídas.**

La interacción variedades x contenido de humedad x matacaídas (Var x Ch x Mat) resultó significativa para altura de plántula (Cuadro 11). Las tres variedades muestran que los matacaídas utilizados en una planta de beneficio de semillas, juega un papel determinante en la expresión de caracteres importantes durante el beneficio de la semilla, ya que las variedades Canarias 107, Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro trilladas con 14 y 20 % de humedad mostraron mayor altura de plántula

sin matacaídas que con dos matacaídas, a excepción de Tipo Flor de Mayo con 14 % que disminuyó (Figura 23).



**Figura 23. Altura de plántula de tres variedades de frijol, trilladas bajo dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matacaídas.**

#### 4.2.2.3 Peso seco de plántula

El peso seco se evaluó al término de la prueba de emergencia establecida en las charolas con arena. En el análisis de varianza se observa que hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para el factor variedades (Cuadro 9).

El mayor peso lo presentó la variedad Canario 107, mientras que no se encontraron diferencias estadísticas entre las variedades Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro con  $P (\alpha \leq 0.05)$  (Cuadro 12). Se ha reportado que una mayor cantidad de reservas puede producir mayor cantidad de materia seca (Heydecker, 1972). Estos resultados confirman lo reportado por Hernández (1990), quien encontró que el tamaño de semilla es determinante en el total de materia seca producida por plántula, enfatizando que existe una relación entre el tamaño de semilla y el vigor de la plántula, siendo este favorable a Canario 107, que presentó una semilla de mayor tamaño. Por su parte Soltani *et al.* (2006), señalan que las semillas grandes

producen más biomasa al comienzo del ciclo de crecimiento, aunque este efecto puede perderse después en la etapa reproductiva.

**Cuadro 12. Promedio de la variable peso seco (g/plántula) para los factores y niveles que fueron significativos.**

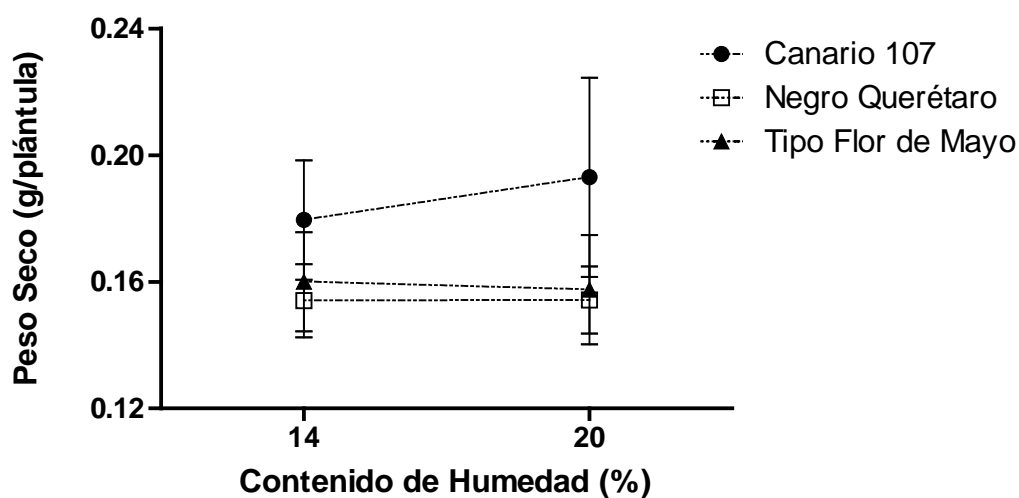
Factor	Peso seco g/plántula
<b>Variedad</b>	
Canario 107	0.186250a
Negro Querétaro	0.158750b
Tipo flor de Mayo	0.154125b
	DSM 0.5= 0.0064
<b>Contenido de humedad</b>	
20%	0.16825a
14%	0.16450a
	DSM 0.5= 0.0044
<b>Matacaídas</b>	
Sin matacaídas	0.17050a
Con matacaídas	0.16225b
	DSM 0.5= 0.0044
<b>Punto de muestreo</b>	
Pm 5	0.169375a
Pm 4	0.167500a
Pm 2	0.165833a
Pm 3	0.164792a
Pm 1	0.164375a
	DSM 0.5= 0.0097

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales al 0.05 % de probabilidad. Pm 1 = 1ra tolva de almacenamiento, Pm 2 = después de la MAZ, Pm 3 = después del elevador y antes de la MG, Pm 4 = después de la MG y Pm 5 = después de la tratadora.

Al igual que las variedades, el factor matacaídas (con y sin) que favoreció en mayor medida la acumulación de peso seco/plántula, durante el beneficio de cada una de las variedades, fue cuando no se usó matacaídas, con un promedio de peso seco de 0.17 g/plántula, de manera general para las tres variedades utilizadas (Cuadro 12).

La interacción contenido de humedad x variedades (Var x Ch) fue altamente significativa (Cuadro 11). La máxima acumulación de materia seca en la parte aérea se registró en las variedades que se trillaron con un 20 % de humedad con un valor promedio de las tres variedades de 0.5 g. La variedad Canario 107 presentó la máxima acumulación de peso seco en ambos contenidos de humedad (14 y 20 %), alcanzando un promedio general de 0.187 g/plántula. Sin embargo, en las

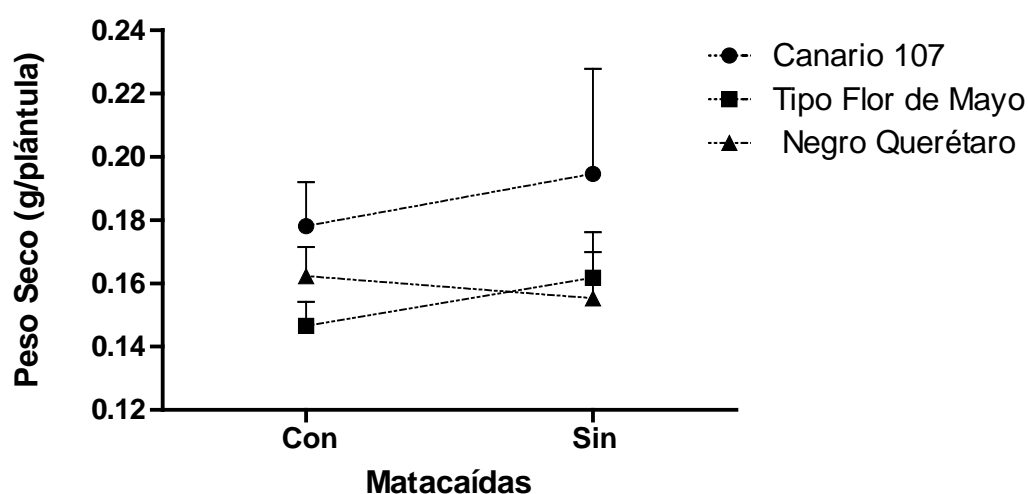
variedades Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro no se observó gran diferencia en la acumulación de peso seco, respecto a cada uno de los contenidos de humedad manejados durante la trilla mecánica (Figura 24). La diferencia en resultados entre las variedades puede estar relacionado con la calidad inicial de la semilla como es el vigor, de tal manera, que semillas con alto vigor tienen la capacidad de emerger más rápido que las de poco vigor, logrando estar en condiciones favorables de nutrientes, luz y espacio en relación con semillas que emergen poco después. De igual manera, los resultados obtenidos pueden estar influidos por algunos factores como la duración de la prueba de emergencia, como es el caso de la variedad Negro Querétaro, que presentó un periodo más amplio. De manera general, la variedad Negro Querétaro en ambos contenidos de humedad fue la que menor peso seco acumuló durante la prueba de emergencia.



**Figura 24. Peso seco de plántula de tres variedades de frijol, trilladas con dos contenidos de humedad.**

La interacción variedad x matacaídas (Var x Mat) resultó altamente significativa para peso seco de plántula (Cuadro 11), lo cual indica que hay una respuesta diferencial de las variedades al uso o no de matacaídas durante el beneficio. Canario 107 fue la variedad con mayor acumulación de peso seco con 0.28 g, este comportamiento se debe a que la variedad presenta estructuras de reserva de mayor tamaño que el

resto de las variedades, en contraparte las variedades con colores de testa más oscuros como el Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro, que son las que presentaron la menor acumulación de peso seco de la parte aérea, lo que quizá tenga relación con el vigor que cada una presenta. La mejor infraestructura utilizada durante el beneficio de la semilla tiende a ser la dos (sin matacaídas en caída libre de 10 m) para Canarias 107 y Tipo Flor de Mayo, y la uno (dos matacaídas) para Negro Querétaro (Figura 25).

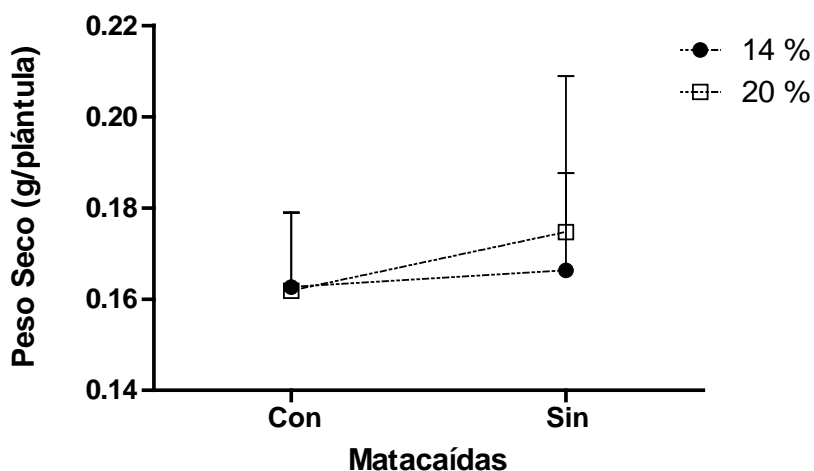


**Figura 25. Peso seco de plántulas de tres variedades de frijol, beneficiadas con y sin matacaídas.**

La interacción contenido de humedad x matacaídas (Ch x Mat) generó efectos significativos en la variable peso seco de plántula (Cuadro 11). La máxima acumulación de materia seca se obtuvo en las variedades beneficiadas sin matacaídas. Sin embargo, no se encontraron diferencias respecto a la acumulación de materia seca en los dos contenidos de humedad, cuando la semilla se benefició con matacaídas. A un contenido de humedad de 20 % y sin matacaídas, se observó la mayor acumulación de peso seco con 0.175 g/plántula (Figura 26).

El peso seco de plántulas en la interacción variedades x contenido de humedad x matacaídas (Var x Ch x Mat), presentó efectos altamente significativos (Cuadro 11),

donde se puede observar una respuesta diferencial entre las variedades y los matacaídas (con y sin) que se utilizaron para el beneficio de los lotes de semilla; cabe destacar que no se encontró una respuesta clara sobre el comportamiento de los contenidos de humedad, más bien su respuesta se relacionó con la variedad y con el beneficio con y sin matacaídas; al respecto, se encontró que sin matacaídas la variable peso seco presentó un promedio de 0.17 g/plántula para las tres variedades. No se observó una diferencia clara respecto al comportamiento del contenido de humedad sobre el peso seco de plántula, para señalar que un contenido de humedad es mejor que otro; sin embargo, se puede apreciar que la variedad Canario 107 sin matacaídas, logró alcanzar la máxima acumulación de peso seco con 0.21 g/plántula (Figura 27). Los resultados obtenidos se pueden explicar si tomamos en cuenta que Canario 107 tiene una semilla de mayor tamaño, que presentó buena velocidad de emergencia, no estuvo exenta de daño, pero que, probablemente no dañó estructuras esenciales que contribuyen a la emergencia de la semilla y que rompieron la barrera entre el agua y la semilla para empezar con la fase de imbibición.



**Figura 26. Peso seco de plántula cuando la semilla fue trillada bajo dos contenidos de humedad y beneficiada con y sin matacaídas.**

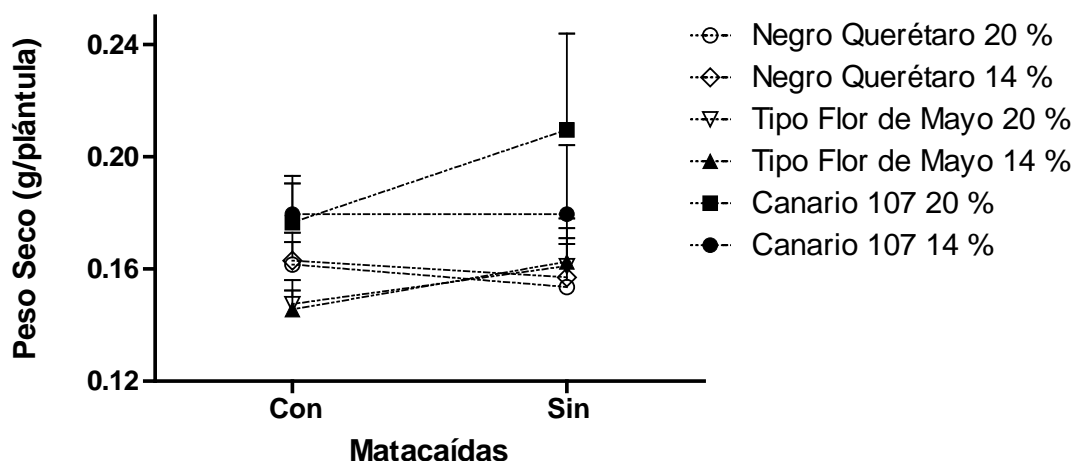


Figura 27. Peso seco de plántula de tres variedades de frijol, trilladas con dos contenidos de humedad y beneficiadas con y sin matabaídas.

### 4.3. Análisis multivariado

De acuerdo a la significancia estadística del análisis multivariado para variedades, contenido de humedad, matabaídas y puntos de muestreo (Cuadro 13), de manera general se concluye que las variables utilizadas en el análisis afectan a los factores de clasificación, por lo que se realizó un análisis de componentes principales.

Cuadro 13. Análisis multivariado del daño mecánico ocasionado durante el beneficio de tres variedades de frijol.

F. V.	Pr > F
Var	<.0001
Ch	<.0001
Mat	<.0001
Pm	<.0001
Var x Ch	<.0001
Var x Mat	<.0001
Var x Pm	0.0159
Ch x Mat	<.0001
Ch x Pm	0.0248
Mat x Pm	<.0001

Para el análisis de componentes principales (ACP) se consideró a las variables evaluadas de calidad fisiológica (IVE, ALT, PS, DM, G, plántulas anormales, semillas muertas, semillas duras) y su relación con los dos primeros componentes del ACP.



El resultado del ACP para las tres variedades de frijol indica que el CP1 (34.5 %), CP2 (21.8 %) y CP3 (18 %) en conjunto explican el 74 % de la variación total (Cuadro 14).

**Cuadro 14. Total de la varianza explicada para cada componente principal en las características fisiológicas de tres variedades de frijol.**

Componente	Valores propios	Porcentaje de la varianza	Acumulado
1	2.7590	0.345	0.345
2	1.7471	0.218	0.563
3	1.4397	0.180	0.743
4	0.7807	0.098	0.841
5	0.5718	0.071	0.912
6	0.4013	0.050	0.962
7	0.3001	0.038	1.0000
8	0.0004	0.000	1.0000

El ACP de las características de la semilla mostró que los dos primeros CP explicaron el 56.3 % de la variación total observada, representada por 34.5 % y 21.8 % de la variación total en los CP1 y CP2, respectivamente. Las variables de mayor importancia en el CP1 fueron germinación, peso seco, índice de velocidad de emergencia, y número de semillas duras, sin embargo, para el CP2 las variables que presentan fuertes relaciones y que de manera directa contribuyen a explicar la variabilidad total fueron daño mecánico y número de plántulas anormales. Así las variables germinación y daño mecánico son relativamente importantes en la evaluación del daño ocasionado a la semilla de frijol durante el beneficio, pues explicaron una amplia parte de la variación de los dos primeros componentes (Cuadro 15).

Al analizar la distribución espacial de las variedades beneficiadas en la planta de semillas respecto a los CP1 y CP2 (Figura 28), se pueden observar tres grandes grupos, el primero ubicado a lo largo de los dos cuadrantes de la izquierda que incluye prácticamente a la variedad Canario 107, la cual se encuentra muy relacionada con la mayor acumulación de peso seco (0.19 g/ plántula) y el mayor porcentaje de daño mecánico. En contraste, la variedad que forma el segundo grupo es Tipo Flor de Mayo, localizado en la parte central de los cuadrantes que presentó

el mayor índice de velocidad de emergencia, y finalmente Negro Querétaro localizado a lo largo de los cuadrantes de la derecha, caracterizado por presentar un mayor porcentaje de germinación. En los tres grandes grupos formados por las variedades, se observaron diferencias en las respuestas, ya que dentro de las mismas variedades existieron respuestas diferenciales, por ejemplo, en la variedad Canario 107 algunos tratamientos se relacionan con un mayor daño mecánico a la semilla y número de plántulas anormales, así como, en la variedad Negro Querétaro que se relacionó a un mayor porcentaje de germinación y también presentó tratamientos relacionados con un daño mecánico mayor.

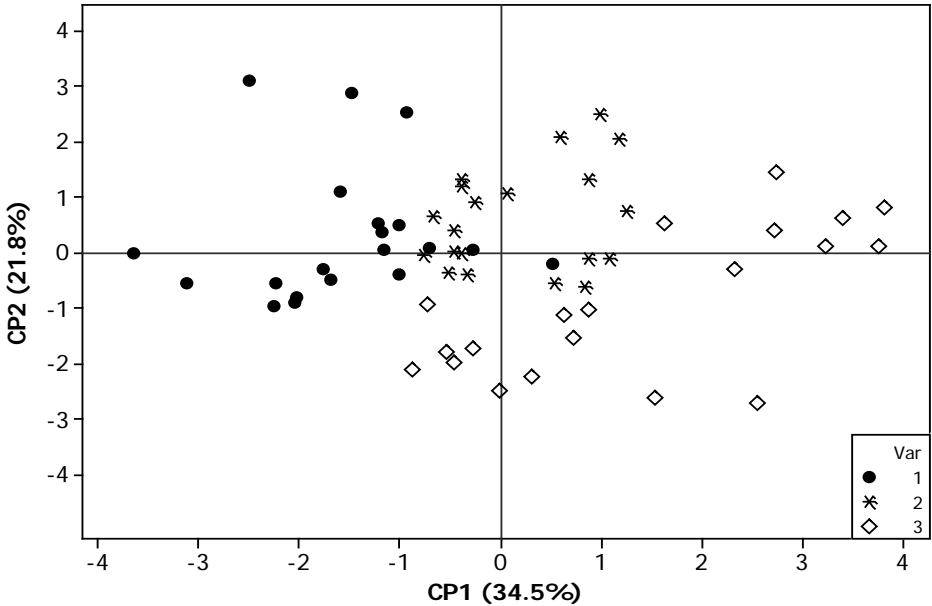
**Cuadro 15. Valor de correlación de las variables originales en los primeros dos componentes principales (CP) del análisis para las tres variedades de frijol.**

Variable original	Vectores propios	
	CP 1	CP 2
Índice de velocidad de emergencia	<b>0.378</b>	0.263
Altura de plántula	-0.017	0.050
Peso seco de plántula	<b>0.391</b>	0.068
Daño mecánico	0.202	<b>0.494</b>
Germinación	<b>0.474</b>	-0.453
Plántulas anormales	-0.384	<b>0.564</b>
Semillas muertas	-0.347	-0.168
Semillas duras	<b>-0.414</b>	-0.358

La disposición espacial de los contenidos de humedad manejados durante el proceso de trilla en las variedades, para los CP1 y CP2, mostraron una distribución relativamente homogénea de los contenidos de humedad sobre las variables evaluadas, al no mostrar una tendencia clara que permitiera observar la agrupación a simple vista. Los contenidos de humedad 14 y 20 % no se asocian de manera clara a la respuesta de una variable en particular, ya que se ven influenciados por la variedad, matacaídas y puntos de muestreo. En ambos contenidos de humedad se pueden observar respuestas favorables como negativas al daño mecánico, número de plántulas anormales, así como germinación, peso seco de plántula, índice de velocidad de emergencia, etc. (Figura 29).

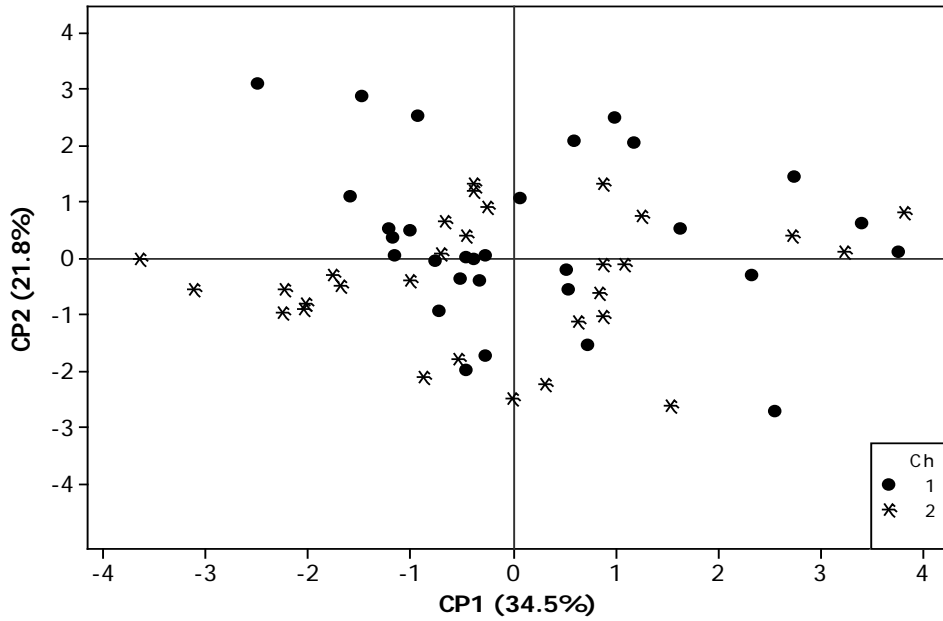
La disposición espacial de los matacaídas utilizados en el beneficio de las variedades de frijol en los CP1 y CP2, mostró dos grandes grupos, el primero formado por el beneficio con matacaídas ubicado a lo largo de los cuadrantes III y IV, relacionado con buena germinación y con alto índice de velocidad de emergencia, y el segundo grupo formado por las variedades que se beneficiaron sin matacaídas, y que se localizan a lo largo de los cuadrantes I y II relacionado con mayor acumulación de peso seco, mayor altura de plántula y mayor porcentaje de daño mecánico (Figura 30).

La disposición espacial de los puntos de muestreo utilizado en las variedades, en relación a los CP1 y CP2, muestra una distribución relativamente homogénea de los puntos de muestreo sobre las variables evaluadas, al no mostrar una tendencia clara en la formación de grupos que fueran identificables a simple vista, por lo que se puede asumir que la respuesta de la variables evaluadas dependió del punto donde se realizó la toma de muestra (Figura 31).



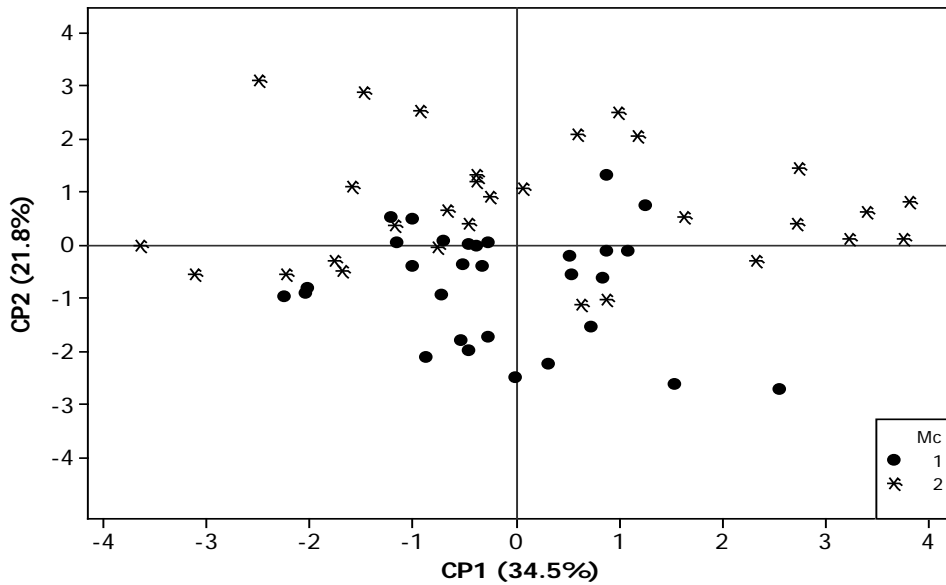
Var 1 = Canario 107, Var 2 = Tipo Flor de Mayo y Var 3 = Negro Querétaro

**Figura 28. Diagrama de dispersión de tres variedades de frijol, con base en los componentes principales 1 y 2.**



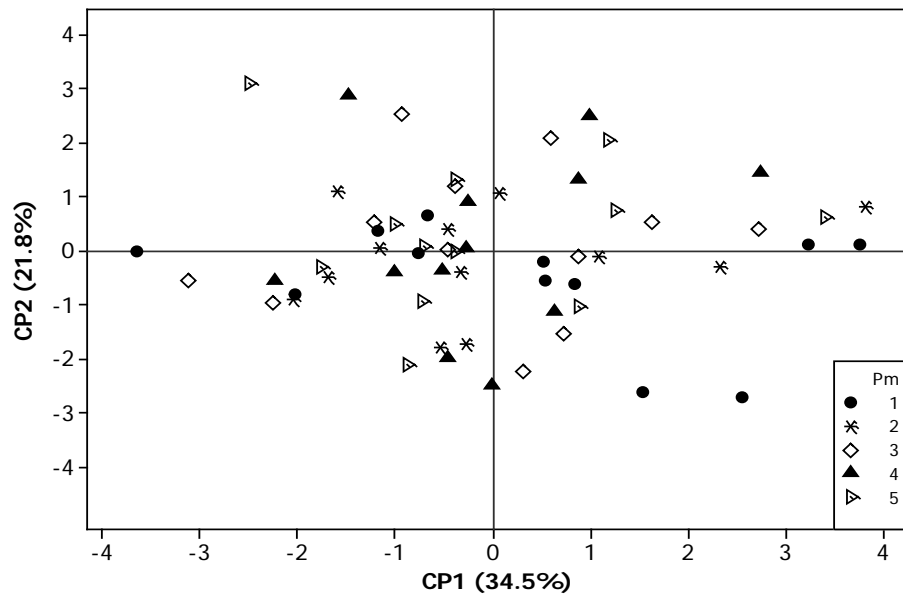
Ch 1 = 14 % y Ch 2 = 20 %.

**Figura 29. Diagrama de dispersión de dos contenidos de humedad, con base en los componentes principales 1 y 2.**



Mat 1 = Sin matacaídas y Mat 2 = Con matacaídas.

**Figura 30. Diagrama de dispersión de los matacaídas (con y sin) utilizados durante el beneficio de las semillas.**



Pm 1 = 1ra tolva de almacenamiento; Pm 2 = después de la MAZ; Pm 3 = después del elevador y antes de la MG; Pm 4 = después de la MG y Pm 5 = después de la tratadora.

**Figura 31. Diagrama de dispersión de cinco puntos de muestreo durante el beneficio de semillas.**

## V. DISCUSIÓN GENERAL

La calidad de las semillas es un concepto múltiple que comprende varios atributos, los cuales contribuyen al establecimiento de la planta en el campo, en donde la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria, juegan un papel importante y determinan la competitividad de un material en el mercado. La calidad física se refiere a características de las semillas como contenido de humedad, peso por volumen y pureza (Basra, 2006). La calidad fisiológica de las semillas involucra aspectos de germinación, viabilidad y vigor (Fox *et al.*, 2006).

Los resultados de este trabajo indican que semillas de frijol beneficiadas con un bajo contenido de humedad y sin matacaídas presentaron cambios detrimentales en los componentes de la muestra, como menor porcentaje de semilla pura y por lo tanto, el mayor daño mecánico evidente en las tres variedades. En el beneficio de semillas con 14 % de humedad y sin matacaídas se observó la mayor disminución de la calidad física de las semillas de frijol, ya que, se incrementaron parámetros poco deseados como la cantidad de materia inerte, daño mecánico evidente, reflejándose en una disminución de la germinación de semillas en las variedades.

La diferencia en la cantidad de semilla pura entre las variedades, está relacionada con la composición inicial de la muestra, la cual se vio influenciada por el tipo de arquitectura de la planta de cada uno de los genotipos; la variedad Canario 107 presenta menor follaje al ser una variedad de mata, en comparación con las variedades Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro que son de semi-guía y que presentan mayor cantidad de follaje, el cual pierden en un mayor tiempo, situación que dificultó la trilla.

Canario 107 se ingresó a trilla con menor cantidad de follaje, en comparación con Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro, dicha condición permitió la separación de mayor cantidad de los residuos de vainas y follaje, situación que no fue posible en las otras dos variedades, ya que el flujo de aire de la trilladora no fue capaz de realizar la separación, debido a la saturación de material vegetal entre los rodillos.

Aunque Canario 107 presentó la mayor cantidad de semilla pura no necesariamente estuvo exenta de presentar el mayor daño mecánico.

La calidad física de las semillas se mejora durante el recorrido de los lotes por la planta de beneficio, menor cantidad de materia inerte permite la obtención de mayor cantidad de semilla pura. La máquina de aire y zarandas eliminó semillas dañadas de acuerdo a características de largo, ancho y espesor, así como impurezas de mayor y menor tamaño, dejando mayor cantidad de semillas, de acuerdo con los parámetros deseados. Por otra parte, la mesa de gravedad realiza una separación con base al peso específico, quitando de la muestra fracciones de semilla, semillas chupadas, semillas con fracturas, pedazos de cotiledones y partículas de menor tamaño. Al respecto, Balesdent *et al.* (2013) encontraron que al utilizar una máquina de aire y zarandas en semilla de soya, no mejoró la calidad fisiológica de la semilla y su función es realizar una pre-selección del lote, donde, se consigue obtener mayor cantidad de semilla pura con características deseables, ventajas que se pueden reflejar directamente cuando el agricultor compre algún material.

El control de calidad en todos los procesos de pre-cosecha, procesamiento y almacenamiento de la semilla, juega un papel importante para asegurar la producción de semillas de alta calidad. Uno de los factores que reducen la calidad de la semilla es el daño mecánico (Henning *et al.*, 2006), la semilla puede ser dañada en estructuras que son de mayor importancia para la supervivencia de una plántula en condiciones adversas.

La variedad Negro Querétaro presentó mayor resistencia al daño mecánico, al mantener su calidad fisiológica en términos de un alto porcentaje de germinación. El daño mecánico en dicha variedad puede estar relacionado con el tipo de componentes de la muestra, ya que como se mencionó, contenía gran cantidad de impurezas que pudieron amortiguar la fuerza de impacto, pero también con las diferencias anatómicas propias de la variedad. Al respecto se ha mencionado que las semillas de frijol negro, son más resistentes al daño mecánico Barriga (1961), El daño mecánico se relacionó positivamente con la altura y peso seco de la plántula. El

principal efecto de la influencia negativa de los daños mecánicos, es la reducción de la germinación y el rendimiento, problema serio para la producción de semillas (Grass y Tourkmani, 1999).

Los tratamientos con menor contenido de humedad y sin matacaídas disminuyeron significativamente la germinación y aumentaron directamente el daño mecánico en la semilla; no hubo diferencias en cuanto al índice de velocidad de emergencia. La variedad Negro Querétaro presentó el mayor porcentaje de germinación y el menor índice de velocidad de emergencia, por lo que estas variables se pueden relacionar directamente con el genotipo y características como tamaño y forma de la semilla, color y composición de la testa. La variedad Canario 107 es de semilla grande, mientras que Tipo Flor de Mayo presenta una semilla de tamaño intermedio y Negro Querétaro semilla pequeña, el color de su testa va de claro a oscuro siendo la variedad Tipo Flor de Mayo semilla de color intermedio. Existen estudios donde se muestra la relación del color de la semilla y espesor de la testa, (Kannenber y Allard, 1964; Atkin, 1958 y Bay, 1995), algunos otros que indican la relación de la forma y tamaño de la semilla con el daño causado a la misma (Dickson, 1980 y Soersarsano y Copeland, 1974). La testa en las leguminosas es altamente diferenciada y su estructura anatómica se relaciona directamente con la especie, ya que existen diferencias marcadas en contenido de celulosa y otros polisacáridos, lignina, cutina, proteínas, compuestos fenólicos, pigmentos, ceras, grasas y materia resinosa, que proporcionan mayor protección contra el daño mecánico (Werker, 1997).

El índice de velocidad de emergencia se relacionó con una mayor altura y por lo tanto una mayor acumulación de peso seco, sin embargo, esto no necesariamente se presentó en esta investigación, la variedad Tipo Flor de Mayo sobresalió por presentar el mayor IVE pero no la mayor altura. Parker *et al.* (2004) encontraron que el tamaño de la semilla puede tener efecto en la emergencia, las especies con semilla grande tienen ventajas competitivas sobre las de semilla chica, por tener mayor soporte metabólico para el crecimiento temprano y consecuentemente originar plántulas de mayor tamaño.



## VI. CONCLUSIONES

Con base en el objetivo e hipótesis planteados y en los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Semillas trilladas y beneficiadas con un contenido de humedad de 14 % presentaron un mayor porcentaje de daño mecánico y menor calidad fisiológica de la semilla, mientras que a un contenido de humedad de 20 % se encontró el menor daño mecánico, mayor pureza y germinación.
2. Los factores variedades y matacaídas durante el beneficio de la semilla, determinan la magnitud del daño mecánico y su efecto en la calidad física y fisiológica en términos de germinación, índice de velocidad de emergencia, altura y peso seco de plántula.
3. Cuando las variedades Canario 107, Tipo Flor de Mayo y Negro Querétaro fueron beneficiadas sin el uso de matacaídas, se propició el mayor daño mecánico, menor pureza física y disminución de la germinación, en comparación con el uso de matacaídas que permite mejorar el nivel de calidad de las semillas.
4. En semillas trilladas y beneficiadas con 14 % de humedad y sin matacaídas, se obtuvo la menor calidad física y fisiológica de las semillas, incrementándose parámetros poco deseados como cantidad de materia inerte, daño mecánico evidente, y disminución de la germinación de las semillas.
5. La variedad Canario 107, con un contenido de humedad de 14 % y beneficiada sin matacaídas, presentó el mayor porcentaje de daño mecánico; mientras que la variedad Negro Querétaro mostró el mejor comportamiento en germinación y el menor daño mecánico.

6. De acuerdo a la secuencia seguida para el acondicionamiento de las variedades, tanto la máquina de aire y zarandas como la mesa de gravedad mejoran la calidad física y fisiológica de las semillas.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Acosta A., J. y F. Ospina, H. 1979 guía de estudios. Semillas de frijol de buena calidad. Serie 04-SB.12.03. CIAT. Cali Colombia. 38 p.
- Almeida F de A. C; Figueiredo N, A; F. da C, R; P. G. de G, J and E. C. de O, M. 2004. Danos mecânicos em sementes de feijão Vigna, causados pelas operações na unidade de beneficiamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.2/3, p.254-259.
- Anazodo, U. G. N., G. L. Wall and E. R. Norris. 1981. Corn physical and mechanical properties as related to combine cylinder performance. Canadian Agricultural Engineering. 23:23-30.
- Atkin, J. D. 1958. Relative susceptibility of snap bean varieties to mechanical injury of seed. American Society for Horticultural Science. 72:370-373.
- Balesdent Moreano T.; De Lucca e Braccini A.; Scapim, C. A.; De Barros França-Neto J.; Krzyzanowski, F. C.; Marques O, J. 2013. Physical and physiological qualities of soybean seed as affected by processing and handling. Journal of Seed Science 35 (4) 466-477.
- Barriga, C. 1961. Effects of mechanical abuse of navy beanseed at various moisture levels. Agronomy Journal. 53: 250-251.
- Baryeh, E.A. 2002. A simple grain impact damage assessment device for developing countries. Journal of Food Engineering 56:37-42.
- Basra, A. S. 2006. Seed Quality: basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press. New York, U.S.A. 389 p.
- Baudet, L., F. Popinings e S. Peske. 1978. Danificações mecânicas em sementes de soja (*Glycine max.* L. Merrill) transportadas por um sistema elevador-secador. Revista Brasileira de Armazenamento. 3:29-38.

- Bay , A. P. M., A. G. Taylor and M. C. bourne. 1995. The influence of wáter activity on the three genotypes of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in relation to mechanical damage resistance. *Seed Science &Technol.* 23:583-593.
- Bharud, R. W. And R. B. Patil. 1990. Studies of physiological maturity of grain (*Cicer arietium* L.) seeds. *Seed Science Research* 18(2):160-162.
- Bilanski, W. K. and Lal, R. 1965. The behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. *Transactions of the ASAE.* p. 411- 416.
- Boesewinkel FD, and Bouman F. 1995. The seed: structure and function. *In:* Kigel J, and Galili G [eds.], *Seed development and germination*, 1–24. Marcel Dekker, New York.
- Bosoi, E. S.; Verniaev, O. V.; Smirnov, I. I. and Sultan- Shakh, E. G. 1991. Theory, construction and calculations of agricultural machines. Volume Two. Jaganmohan A. Translation to English from an original Russian version. India. p. 469-471.
- Bunch, H. D. 1962. Mechanical seed injury. *In:* *Proceedings seedsmep's Short Course.* April 29-Mayo. Mississippi State University Mississippi. P. 93-98.
- Burris, J. S. 1980. Free fall and conditioning environment-is seed quality affected?. *Seedsmen's Digest.* 31:44-46.
- Carbonell, S. A. M. and F. C. Krzyzanowsky. 1995. The pendulum test for screening soybean genotypes for seeds resistant to mechanical damage. *Seed Science &Technology.* 23:331-339.
- Castro M., M. A.1993. Momento de cosecha de semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). en el Valle del Fuerte. Tesis de Licenciatura. UACH. Chapingo, Méx. 69 p.
- Chamma, H. M. C. P., J. Marcos-Filho, and O. J. Crocomo. 1990. Maturation of seeds of Aroana vean (*Phaseolus vulgaris* L.) and its influence on the storage potential. *Seed Science &Technology.* 18:371-382.

- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 1985. Principles of Seed Science and Technology. Editorial Burgess Publishing. USA. 321 p.
- Delouche, J. C. 1981. Seed conditioner's clinic. Seed storage II. Seedsmen's Digest. 32:10.
- Dhillon, G. S. y D. S. Kler. 1976. Crop production in relation to seed size. Seed Science Research 4(2):142-155.
- Díaz, J. A. L. y H. A. H. González. 1992. Producción de semilla de granos en pequeña escala. ICA-informa. 26:23:30.
- Dickson, M. H. 1975. Inheritance of transverse cotyledon cracking resistance in snap bean, (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of the American Society for Horticultural Science. 100 (3): 231-233.
- Dickson, M. H. 1980. Genetics aspects of seed quality. Horticultural Science 15(6):771-774.
- Divsalar M and Oskouie B. 2011. Study the effect of mechanical damage at processing on soybean seed germination and vigor. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science. 6 (7) 60-66.
- Dornbos, L. D. 1995. Seed vigour. In Basra A. S. (ed.). Seed quality. Haworth. New York, USA. 45-79 p.
- Engleman, E. M. 1991. Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de postgraduados. Chapingo, México, 140 p.
- Faiguenbaun M. H., y A. Romero L. 1989. Efecto del tamaño de semilla sobre la germinación, vigor y crecimiento de las plantas en un cultivar de frejol. Ciencia e Investigación Agraria 16(3):123-129.
- FAOSTAT (Grupo de trabajo interdepartamental sobre estadísticas de la FAO) <http://faostat.fao.org>. Consulta: 13 de Agosto, 2013.

- Filho, M, J.; McDonald. M. B. 1998. Sensitivity of RAPD analysis, germination and vigour test to detect the intensity of deterioration of naturally and artificially aged soybean seeds. 26:141-157.
- Fox, G. P., Kelly, A., Poulsen, D., Inkerman, A. and Henry, R. Selectioning of increased barley grain size. Journal of Cereal Science 43, 198-208.
- Franco, T. L.; R. Hidalgo. 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Filogenéticos. Boletín técnico Núm. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia, 89 p.
- Garay, E. A. 1989. La calidad de la semilla y sus componentes. Memorias del primer curso avanzado sobre sistemas de semillas para pequeños agricultores. CIAT. Mayo 15 – junio 23. Cali, Colombia. p. 2-11.
- García, E. H.; C. B. Peña-Valdivia; R. J. Aguirre R.; J. Maruaga M. 1997. Morphological and agronomic traits of a wild population and improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Annals of Botany 79:207-213.
- George, D. L.; Gupta, M. L.; Tay, D. and Parwata I. G. M. A. 2003. Influence of planting date, method of handling and seed size on supersweet sweet corn seed quality. Seed Science & Technology. 31:351-366.
- Gepts, P. 1994. Análisis moleculares del proceso de domesticación en plantas: el ejemplo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*), 11° Congreso Latinoamericano de Genética (Área vegetal) y XV Congreso de Fitogenética, Monterrey, Nuevo León. 25-30 p.
- González, A.; J. Lynch; J. M. Tohme; S. E. Beebe; R. E. Macchiavelli. 1995. Characters related to lead photosynthesis in wild populations and landraces of common bean. Crop Science 35: 1468-1476 p.
- Grass L. and M. Tourkmani. 1999. Mechanical damage assessment in rejected durum wheat seed lots in Morocco. Seed Science & Technology 27(3): 991-997.

- Gregg, B. R. 1977. Seed processing plant design. *Seed Science & Technology*. 5:287-335.
- Harrington, J. F. 1977. Cleaning vegetable and flowers seeds. *Seed Science & Technology* 5:225-231.
- Henning A. Krzyzanowski, Francisco C. França Neto, José B. and P. Costa Nilton. 2006. Technologies That Add Value to Soybean Seed. *Seed News*, The International Seed Magazine. www. Seed News. Inf. Br.
- Herazo, P. F. y A. O. Mendoza. 1985. Consideraciones sobre el acondicionamiento de semillas. *ICA-informa*. 19:52-59.
- Hernández L. A. 1990. Variación genética para la longevidad de semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Licenciatura. UACH. Chapingo, Méx. 98 p.
- Heydecker, W. 1972. Vigour. In: E. H. Roberts (ed.). *Viability of seeds*. Chapman and Hall. London. 448 p.
- Jindal, V. K., F. L. Herum and M. Y. Hamdy. 1979. Selected breakage characteristics of corn. *Transactions of the ASAE*. 22:1193-11996.
- Justice, O. L. and L. N. Bass. 1979. *Principles and Practices of Seed Storage*. Castle House Publications Ltd. Great Britain. 289 p.
- Kannenbergh, L.; Allard, R. 1964. An association between pigment and lignin formation in the seed coats of the lima bean. *Crop Science*, 1 (2): 621-622.
- Kaplan, L. 1981. What is origin of the common bean? *Economy Botany* 35 (2):240-254.
- Kaplan, L.; T. F. Lynch 1998. *Phaseolus* (Fabaceae). In *archaeology: AMS radiocarbon dates and their significance for pre-Colombian agriculture*. *Economy Botany* 53 (3): 261-272.

- Kelly, A. F. 1988. Seed production of agricultural crops. Longman Scientific & Technical. Great Britain. 227 p.
- Khazaei, J. 2009. Influence of impact velocity and moisture content on mechanical damages of white kidney beans under loadings. *Cercetari agronomice in Moldova (Romania)* 1(137); 5-18.
- LeFord, D. R. and W. A. Russell. 1985. Evaluation of physical grain quality in the BS17 and BS1 (HS) C1 synthetics of maize. *Crop Science*. 25:471-476.
- Lollato, M. A. 1989. Colheita, processamento e armazenamento. *In: O fenão no Paraná*. FIAP. Londrina, Brasil. 303 p.
- Luedders, V. D. and J. S. Burris. 1979. Effects of broken seed coats on field emergence of soybeans. *Agronomy Journal*. 74:546-550.
- Mancera Rico, A; García de los Santos, G; Carballo Carballo A; Villaseñor Perea C. A; Martínez Garza, A. y Estrada Trejo, V. 2007. Calidad fisiológica y daño físico en semilla de maíz sometida a impacto. *Agricultura Técnica en México* 33 (2) 125-133.
- Mathiasson, K. and A. Wignell. 1977. Seed transport and handling in processing systems. *Seed Science & Technology*. 5:271-285.
- McDonald, Jr. M. B. 1985. Physical seed quality of soybean. *Seed Science & Technology* 13:601-628.
- Mesquita, C. M. and Hanna, M. A. 1993. Soybean threshing mechanics: II Impact. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 36:281-284.
- Miranda C., S. 1967. Origen de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común). *Agrociencia* 1:99-109 p.
- Misra, M., A. Gaul and O. Kayode. 1985. Soybean seed quality during conditioning. *Transactions of the ASAE*. 36: 281-284.



- Moes, J. and Vyn, T. J. 1988. Management effects on kernel breakage susceptibility of early maturing corn hybrids. *Agronomy Journal*. 80: 699-704.
- Mohsenin, N.N., 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. 2nd edn. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Moore, R. P. 1972. Effects of mechanical injuries on viability. *In: Viability of seeds*. Ed. E. H. Roberts. Chapman and Hall Ltd. Great Britain. 448 p.
- Moreira de Carvalho, N. y J. Nakagawa. 1988. *Semillas: ciencia, tecnología y producción*. Hermisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 406 p.
- Moreira, S. M. C., G. W. Krutz and G. H. Foster. 1981. Crack formation in corn kernels subject to impact. *Transactions of the ASAE*. 24:889-892.
- Moreno M., E. 1984. *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. Instituto de biología. UNAM. México. 109 p.
- Neergaard, P. 1977. *Seed pathology*. Vol. I. Unwin Broter Limited The Gresham Press, Old Woking, Surrey, England. 839 P.
- Obrador J., R. 1982. Deterioración fisiológica de las semillas. *Simiente* 52 (1-2): 1-8.
- Parde, S. R., R. T. Kausalb., D. S. Jayasa, and N. D. G. White. 2002. Mechanical damage to soybean seed during processing. *Journal of Stored Product Research* 38:385-394.
- Parker, W. C.; Noland, T. L.; Morneault, A.E. 2004. Effect of seed mass of five eastern white pine (*Pinus strobus* L.). families under contrasting light environments. *Canadian Journal of Botany* 82:1645-1654.
- Paulsen, M. R. and L. D. Hill. 1977. Corn breakage in overseas shipments-two case studies. *Transactions of the ASAE*. 20:550-557.
- Paulsen, M. R. and W. R. Nave. 1979. Improved indoxil acetate test for detecting soybean seed coat damage. *Transactions of the ASAE*. 24:1583-1589.

- Peterson, J. M., J. A. Perdomo and J. S. Burris. 1995. Influence of kernel position, mechanical damage and controlled deterioration on estimates of hybrid maize seed quality. *Seed Science & Technology* 23:647-657.
- Prakobboon, N. 1982. A study of abnormal seedling development in soybean as affected by threshing injury. *Seed Science & Technology* 10: 495-500.
- Robles S., R. 1983. Producción de Granos y Forrajes. Edit. Limusa. S. A. de C. V. 608 P.
- Romano, A; Tevés, I; Torres, N; Cazón, L. 2008. Variaciones en la calidad de semillas de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) por efectos del daño mecánico y su influencia en el vigor de las plántulas. *IDESIA (Chile)* 26(2) 83-87.
- Ross, A. M y Lembi, A. c. 1999. Applied weed science. *In: Characteristics, biology and importance of weeds*. Prentice Hall (ed.). Second Edition. U. S. A.
- Rossi, C and González S. 2006. Problemas en la calidad de semillas de soja. Unidad Técnica Semillas INIA. *Revista INIA - N° 9*. 34-36 pp.
- Rudall P. 1987. Anatomy of flowering plants. An introduction to structure and development. Edward Arnold, London, New York.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. Estadísticas 2005-2011. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). [http:// www.siap.sagarpa.gob.mx](http://www.siap.sagarpa.gob.mx). Consulta: 13 de agosto, 2013.
- Saini, S. K., J.N. Singh and P. C. Gupta. 1982. Effect of threshing method on seed quality of soybean. *Seed Research*. 10:133-138.
- Sánchez- Rodríguez, G., J. A. Manríquez- Núñez, F. A. Martínez-Mendoza y L. A. López- Ibarra. 2001. El frijol en México competitividad y oportunidades de desarrollo. *Boletín informativo FIRA*. Número 36. Volumen XXXIII, México, 85 p.

- Shahbazi F; Saffar A; Analooei M. 2011. Mechanical damage to pinto beans as affected by moisture content and impact energy. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 13(2).
- Siddique, M. A., G. Somerset and P. B. Goodwin. 1987. Time of harvest, prethreshing treatment and quality in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Aust. J. exp. Agric.* 27: 179-187.
- Sinhg, S. P. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars. *Crop Science* 41: 1659-1675.
- Sinhg, S. P.; P. Gepts; D.G. Debouck. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany* 45 (3): 379-396.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2011. Semillas para Siembra de Maíz, Trigo, Sorgo y Frijol. Consulta: 13 de agosto, 2013.
- Soersarsano, W., and L. O. Copeland. 1974. Effect of origin, moisture content, maturity and mechanical damage on seed and seedling vigor of beans. *Agronomy Journal*. 66:546-548.
- Soltani, A; Robertson, M. J.; Torabi, B; Yousefi-Diaz, M.; Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology* 138: 156-167.
- Sosnowski, S. 2006. Reasons of mechanical damage of bean seeds under dynamic loads. *Acta Agrophysica* 130: 1-65.
- Srivastava, A. K., F. L. Herum and K. K. Stevens. 1976. Impacts parameters related to physical damage to corn kernel. *Transactions of the ASAE*. 19: 1147.1151.
- Suguna, C. A; S. Gopal y Jagan, V. M. R. 1985. Study of root characters in relation to seed weight in rice and sorghum. *Seed Research* 13 (2): 148-150.

- Szwed, G. and Lukaszuk, J. 2007. Effect of rapeseed and wheat kernel moisture on impact damage. *Int. Agrophysics* 21: 299-304
- Teknory, D. M., D.B. Egli and G. M. White. 1987. Seed production and technology. *In: Soybeans: improvement, production and uses*. Ed. J. R. Wilcox. Madison, Wisconsin, USA. 888 p.
- Valdés V. 1988. Calidad de semillas: necesidad de investigación. *Próxima década*. 6 (70):9-11.
- Vieira, C. P, R. D. Vieira, and J. H. N. Paschoalinck. 1994. Effects of mechanical damage during soybean seed processing on physiological seed quality and storage potential. *Seed Science & Technology*. 22: 581-589.
- Watson, S. A. and F. L. Herum. 1986. Comparison of eight devices for measuring breakage susceptibility of shelled corn. *Cereal Chem*. 63:139-142.
- Werker E. 1997. Seed anatomy. *In: Carlquist S, Cutler DE, Fink S, Ozenda P, Roth I, and Ziegler H [eds.], Encyclopedia of plant anatomy*. 10(3), 1–424. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- Wilson Jr., D. O. and McDonald Jr. 1992. Mechanical damage in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed in mechanized and non-mechanized threshing systems. *Seed Science & Technology* 20:571-582.
- Zoerb, G. C., G. A. Moore and R. P. burrow. 1993. Continuous measurement of grain moisture content during harvest. *American Society of Agricultural Engineers*. 36: 5-9.

## VIII. ANEXO

**Cuadro 1A. Tratamientos de la combinación de los factores de estudio.**

Tratamiento	Variiedad	Contenido de humedad	Matacaídas	Punto de Muestreo
1	Canario 107	14%	Con matacaídas	Pm 1
2	Canario 107	14%	Con matacaídas	Pm 2
3	Canario 107	14%	Con matacaídas	Pm 3
4	Canario 107	14%	Con matacaídas	Pm 4
5	Canario 107	14%	Con matacaídas	Pm 5
6	Canario 107	20%	Con matacaídas	Pm 1
7	Canario 107	20%	Con matacaídas	Pm 2
8	Canario 107	20%	Con matacaídas	Pm 3
9	Canario 107	20%	Con matacaídas	Pm 4
10	Canario 107	20%	Con matacaídas	Pm 5
11	Canario 107	14%	Sin matacaídas	Pm 1
12	Canario 107	14%	Sin matacaídas	Pm 2
13	Canario 107	14%	Sin matacaídas	Pm 3
14	Canario 107	14%	Sin matacaídas	Pm 4
15	Canario 107	14%	Sin matacaídas	Pm 5
16	Canario 107	20%	Sin matacaídas	Pm 1
17	Canario 107	20%	Sin matacaídas	Pm 2
18	Canario 107	20%	Sin matacaídas	Pm 3
19	Canario 107	20%	Sin matacaídas	Pm 4
20	Canario 107	20%	Sin matacaídas	Pm 5
21	Tipo Flor de Mayo	14%	Con matacaídas	Pm 1
22	Tipo Flor de Mayo	14%	Con matacaídas	Pm 2
23	Tipo Flor de Mayo	14%	Con matacaídas	Pm 3
24	Tipo Flor de Mayo	14%	Con matacaídas	Pm 4
25	Tipo Flor de Mayo	14%	Con matacaídas	Pm 5
26	Tipo Flor de Mayo	20%	Con matacaídas	Pm 1
27	Tipo Flor de Mayo	20%	Con matacaídas	Pm 2
28	Tipo Flor de Mayo	20%	Con matacaídas	Pm 3
29	Tipo Flor de Mayo	20%	Con matacaídas	Pm 4
30	Tipo Flor de Mayo	20%	Con matacaídas	Pm 5
31	Tipo Flor de Mayo	14%	Sin matacaídas	Pm 1
32	Tipo Flor de Mayo	14%	Sin matacaídas	Pm 2
33	Tipo Flor de Mayo	14%	Sin matacaídas	Pm 3
34	Tipo Flor de Mayo	14%	Sin matacaídas	Pm 4
35	Tipo Flor de Mayo	14%	Sin matacaídas	Pm 5
36	Tipo Flor de Mayo	20%	Sin matacaídas	Pm 1
37	Tipo Flor de Mayo	20%	Sin matacaídas	Pm 2
38	Tipo Flor de Mayo	20%	Sin matacaídas	Pm 3
39	Tipo Flor de Mayo	20%	Sin matacaídas	Pm 4
40	Tipo Flor de Mayo	20%	Sin matacaídas	Pm 5
41	Negro Querétaro	14%	Con matacaídas	Pm 1
42	Negro Querétaro	14%	Con matacaídas	Pm 2
43	Negro Querétaro	14%	Con matacaídas	Pm 3
44	Negro Querétaro	14%	Con matacaídas	Pm 4
45	Negro Querétaro	14%	Con matacaídas	Pm 5
46	Negro Querétaro	20%	Con matacaídas	Pm 1
47	Negro Querétaro	20%	Con matacaídas	Pm 2
48	Negro Querétaro	20%	Con matacaídas	Pm 3
49	Negro Querétaro	20%	Con matacaídas	Pm 4
50	Negro Querétaro	20%	Con matacaídas	Pm 5
51	Negro Querétaro	14%	Sin matacaídas	Pm 1
52	Negro Querétaro	14%	Sin matacaídas	Pm 2
53	Negro Querétaro	14%	Sin matacaídas	Pm 3
54	Negro Querétaro	14%	Sin matacaídas	Pm 4
55	Negro Querétaro	14%	Sin matacaídas	Pm 5
56	Negro Querétaro	20%	Sin matacaídas	Pm 1
57	Negro Querétaro	20%	Sin matacaídas	Pm 2
58	Negro Querétaro	20%	Sin matacaídas	Pm 3
59	Negro Querétaro	20%	Sin matacaídas	Pm 4
60	Negro Querétaro	20%	Sin matacaídas	Pm 5

**Cuadro 2A. Análisis de pureza en semillas con 14 % de humedad y beneficiadas con matacaídas.**

	VARIEDAD										
	Canario 107			Tipo Flor de Mayo				Negro Querétaro			
	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Otras Sp.	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Otras Sp.
Pm 1	540.91	70.52	88.57	557.27	39.49	8.37	94.86	524.61	50.28	61.53	63.57
Pm 2	542.83	92.01	65.17	579.52	51.10	3.68	65.69	576.07	44.10	35.13	44.70
Pm 3	480.73	88.55	130.71	567.82	57.32	2.48	72.39	558.70	47.51	35.48	58.31
Pm 4	556.48	109.71	33.81	620.77	53.55	2.16	23.51	599.01	50.52	11.26	39.22
Pm 5	550.51	100.09	49.40	615.88	60.33	3.15	20.64	590.57	52.24	15.72	41.47

**Cuadro 3A. Análisis de pureza en semillas con 20 % de humedad y beneficiadas con matacaídas.**

	VARIEDAD										
	Canario 107			Tipo Flor de Mayo				Negro Querétaro			
	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Otras Sp.	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Otras Sp.
Pm 1	668.01	17.13	14.86	582.58	37.18	0.70	79.54	551.91	42.37	49.97	55.75
Pm 2	662.04	18.55	19.41	594.70	45.32	0.00	59.98	563.32	26.63	49.45	60.60
Pm 3	658.09	26.46	15.44	587.03	49.33	0.00	63.64	575.26	39.14	33.44	52.16
Pm 4	678.46	18.54	3.00	644.33	46.57	0.00	9.09	595.01	43.08	9.39	52.52
Pm 5	686.72	12.31	0.97	622.59	65.52	0.00	11.90	616.01	35.20	1.01	47.78

**Cuadro 4A. Análisis de pureza en semillas con 14 % de humedad y beneficiadas sin matacaídas.**

	VARIEDAD										
	Canario 107			Tipo Flor de Mayo				Negro Querétaro			
	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Otras Sp.	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Otras Sp.
Pm 1	458.82	121.38	119.80	552.11	48.10	3.43	96.36	524.10	46.39	67.48	62.03
Pm 2	458.90	112.29	128.81	583.20	54.57	1.38	60.86	586.15	41.10	36.33	36.41
Pm 3	463.53	163.27	73.19	567.87	61.50	2.08	68.56	539.13	75.44	54.12	31.31
Pm 4	522.37	159.19	18.45	632.78	58.19	1.91	7.13	561.25	84.05	11.55	43.15
Pm 5	500.08	182.61	17.31	605.01	84.12	1.81	9.06	552.77	87.13	15.26	44.84

**Cuadro 5A. Análisis de pureza en semillas con 20 % de humedad y beneficiadas sin matacaídas.**

	VARIEDAD										
	Canario 107			Tipo Flor de Mayo				Negro Querétaro			
	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Otras Sp.	Semilla Pura	Daño Evidente	Materia Inerte	Otras Sp.
Pm 1	658.65	22.21	19.14	566.51	41.48	6.47	85.54	559.92	46.33	61.27	32.48
Pm 2	669.01	20.10	10.89	598.34	45.21	3.92	52.52	585.45	39.09	39.86	35.60
Pm 3	667.79	24.83	7.38	599.17	34.07	4.19	62.57	552.25	71.38	41.13	35.24
Pm 4	668.10	29.70	2.20	625.21	57.07	1.36	16.36	575.39	80.45	6.88	37.29
Pm 5	679.10	19.79	1.10	626.04	58.50	3.50	11.96	577.79	79.32	10.08	32.82

**Cuadro 6A. Valores promedio de las variables indicadoras de calidad fisiológica (Daño mecánico y Germinación).**

T	DM	T	G
10	40.75 a	18	94.25 a
9	39.25 a	16	93.75 a
8	34.00 a	55	93.25 a
7	18.00 b	13	92.75 a
6	16.25 bc	12	92.25 ab
28	15.25 bcd	11	91.50 abc
16	13.75 bcde	54	91.25 abc
3	13.50 bcdef	44	90.75 abcd
29	13.00 bcdefg	19	90.25 abcde
18	12.75 bcdefgh	42	89.75 abcde
48	12.00 bcdefghi	52	89.50 abcde
20	11.50 bcdefghij	53	88.75 abcdef
27	11.00 bcdefghij	17	88.00 abcdefg
30	10.50 bcdefghij	45	87.75 abcdefg
2	10.50 bcdefghij	20	87.75 abcdefg
19	10.25 bcdefghij	14	87.00 abcdefgh
34	10.25 bcdefghij	6	86.25 abcdefghi
49	9.75 bcdefghij	51	86.00 abcdefghi
21	9.50 bcdefghij	22	86.00 abcdefghi
31	9.25 bcdefghij	2	85.75 abcdefghi
4	9.25 bcdefghij	24	85.50 abcdefghi
5	9.00 bcdefghij	43	85.25 abcdefghi
32	9.00 bcdefghij	23	85.00 abcdefghi
35	8.50 cdefghij	59	84.75 abcdefghi
58	8.25 cdefghij	25	84.50 abcdefghi
40	8.25 cdefghij	7	84.25 abcdefghi
17	8.00 cdefghij	3	84.25 abcdefghi
11	7.50 cdefghij	60	83.75 abcdefghi
1	7.25 cdefghij	5	83.75 abcdefghi
33	7.25 cdefghij	15	83.75 abcdefghi
55	7.25 cdefghij	21	83.25 abcdefghi
38	7.25 cdefghij	10	83.00 abcdefghi
46	7.25 cdefghij	4	82.25 abcdefghi
12	7.25 cdefghij	36	82.25 abcdefghi
26	7.25 cdefghij	31	82.00 abcdefghi
50	7.25 cdefghij	26	82.00 abcdefghi
22	7.00 cdefghij	9	81.75 abcdefghi
15	6.75 defghij	41	81.75 abcdefghi
47	6.75 defghij	37	81.75 abcdefghi
39	6.25 defghij	1	81.25 abcdefghi
59	6.00 defghij	8	80.50 abcdefghi
24	6.00 defghij	33	80.25 abcdefghi
42	5.75 efghij	39	80.25 abcdefghi
25	5.50 efghij	32	79.75 abcdefghi
43	5.50 efghij	38	79.50 abcdefghi
13	5.25 efghij	40	79.00 abcdefghi
14	5.00 efghij	27	79.00 abcdefghi
41	4.75 efghij	48	78.50 abcdefghi
36	4.75 efghij	49	76.75 bcdefghij
44	4.75 efghij	34	76.00 cdefghij
60	4.75 efghij	47	76.00 cdefghij
53	4.25 fghij	35	75.00 defghij
45	4.25 fghij	28	74.75 efghij
23	4.25 fghij	58	73.25 fghij
51	4.25 fghij	56	72.25 ghij
52	4.00 ghij	50	71.75 hij
37	3.50 hij	30	71.50 hij
54	3.00 ij	46	71.00 hij
56	2.75 ij	29	70.50 ij
57	2.25 j	57	69.00 j

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares ( $\alpha=0.05$ ).

T= Tratamiento.

Nota: las variables están expresadas en %.

**Cuadro 7A. Eficiencia de las infraestructuras utilizadas (elevadores, matacaídas, MAZ y MG) durante el beneficio de las tres variedades.**

<b>Canario 107</b>								
	Con matacaídas				Sin matacaídas			
	14 % ch	% de la muestra	20 % ch	% de la muestra	14 % ch	% de la muestra	20 % ch	% de la muestra
Residuos Elevador-Matacaídas	3.5	17.4	3.5	17.4	2.2	11	4.1	20.4
Residuos Matacaídas-1ra. Tolva	1.4	6.8	1.4	7.1	0.9	4.5	0.9	4.6
MAZ								
Salida 1	3.5	17.5	0.7	3.5	0	0.1	0.1	0.4
Salida 2	0.6	2.9	1.3	6.4	2.9	14.3	1.3	6.3
Salida 3	0.1	0.6	0.5	2.6	0.4	2.2	0.3	1.7
Salida 4	0	0	0	0	0.1	0.5	0.1	0.4
Salida 5	0	0	0	0	0	0.2	0	0
Residuos MG	2	10.1	1.7	8.3	2.2	11	2.2	11.1
Residuos Elevador-Tratadora	2	9.9	2.3	11.6	2.5	12.5	2.2	10.9
Tratadora	6.9	34.6	8.6	43.1	8.7	43.7	8.8	44.2
<b>Tipo Flor de Mayo</b>								
	Con matacaídas				Sin matacaídas			
	14 % ch	% de la muestra	20 % ch	% de la muestra	14 % ch	% de la muestra	20 % ch	% de la muestra
Residuos Elevador-Matacaídas	3.7	18.6	4	19.9	2.9	14.5	2.1	10.7
Residuos Matacaídas-1ra. Tolva	0.5	2.6	0	0	0.7	3.6	0.9	4.7
MAZ								
Salida 1	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2
Salida 2	3.5	17.5	3.2	16.1	0	0.2	0	0.2
Salida 3	1.1	5.5	0.4	2.2	3.1	15.4	0	0.1
Salida 4	0.2	1.1	0	0.1	0.1	0.5	3.4	16.8
Salida 5	0	0.2	0	0.2	0	0	0.2	1.2
Residuos MG	1.6	8.2	1.8	9.1	2.6	13.1	2	9.9
Residuos Elevador-Tratadora	1.8	9.1	2	10.2	2.7	13.7	1.4	6.8
Tratadora	7.4	37	8.4	42.1	7.8	38.8	9.9	49.5
<b>Negro Querétaro</b>								
	Con matacaídas				Sin matacaídas			
	14 % ch	% de la muestra	20 % ch	% de la muestra	14 % ch	% de la muestra	20 % ch	% de la muestra
Residuos Elevador-Matacaídas	3.6	18	3.7	18.5	3.3	16.3	3.4	17.1
Residuos Matacaídas-1ra. Tolva	0.5	2.4	0.5	2.4	0.9	4.4	0.8	4
MAZ								
Salida 1	0.1	0.4	0.1	0.4	0.1	0.3	0.1	0.3
Salida 2	2.3	11.5	2.3	11.5	2.1	10.7	2.4	11.8
Salida 3	3	14.9	3	14.9	1.6	8.1		0
Salida 4	0.2	1	0	0.2	0.3	1.6	0.2	1
Salida 5	0.1	0.6	0.1	0.6	0.1	0.7	0.4	2
Residuos MG	1	4.9	0.8	4.1	0.7	3.3	0.9	4.7
Residuos Elevador-Tratadora	2	9.9	3	14.8	2	9.8	4.8	24.1
Tratadora	7.3	36.5	6.5	32.7	9	44.8	7	35.2



**Cuadro 8A. Valores promedio de las variables indicadoras de calidad fisiológica en la prueba de emergencia en microtúnel.**

T	ALT		T	PS		T	IVE	
41	14.568	a	16	0.233	a	25	7.368	a
23	14.450	ab	19	0.210	ab	16	7.250	ab
46	13.640	abc	20	0.208	abc	12	7.180	ab
58	13.480	abc	17	0.205	abcd	23	7.158	ab
57	13.400	abc	10	0.195	abcde	15	7.148	ab
16	13.390	abc	18	0.193	abcdef	11	7.140	ab
50	13.278	abc	14	0.190	abcdef	13	7.080	abc
48	13.223	abc	7	0.188	abcdef	36	7.035	abc
56	13.130	abc	3	0.188	abcdef	14	7.010	abc
17	13.015	abc	2	0.183	abcdef	22	7.003	abc
49	13.000	abc	5	0.180	bcdef	21	6.993	abc
47	12.968	abc	4	0.180	bcdef	24	6.993	abc
10	12.968	abc	11	0.178	bcdef	10	6.988	abc
60	12.893	abc	52	0.178	bcdef	27	6.970	abc
5	12.843	abc	15	0.175	bcdef	33	6.958	abc
14	12.838	abc	8	0.175	bcdef	38	6.938	abc
13	12.823	abc	13	0.173	bcdef	39	6.848	abc
18	12.805	abc	9	0.170	bcdef	40	6.843	abc
9	12.770	abc	45	0.170	bcdef	6	6.810	abc
8	12.663	abc	6	0.170	bcdef	37	6.793	abc
20	12.613	abc	1	0.168	bcdef	26	6.720	abc
11	12.598	abc	50	0.168	bcdef	18	6.710	abc
19	12.515	abc	29	0.168	bcdef	5	6.698	abc
7	12.455	abc	12	0.168	bcdef	4	6.678	abc
12	12.418	abc	30	0.168	bcdef	17	6.620	abc
15	12.308	abc	49	0.165	bcdef	20	6.610	abc
2	12.300	abc	40	0.165	bcdef	1	6.588	abc
4	12.238	abc	48	0.165	bcdef	7	6.533	abcd
51	12.215	abc	37	0.165	bcdef	32	6.508	abcd
45	12.175	abc	26	0.163	bcdef	30	6.480	abcde
42	12.133	abc	42	0.163	bcdef	3	6.475	abcde
6	12.053	abc	44	0.163	bcdef	29	6.468	abcdef
3	12.050	abc	39	0.160	bcdef	2	6.408	abcdef
59	12.030	abc	27	0.160	bcdef	28	6.393	abcdef
39	11.868	abc	43	0.160	bcdef	31	6.355	abcdefg
40	11.868	abc	41	0.160	bcdef	9	6.343	abcdefg
52	11.793	abc	53	0.160	bcdef	35	6.233	abcdefg
53	11.778	abc	38	0.160	bcdef	34	6.193	abcdefgh
22	11.558	abc	51	0.158	cdef	8	5.838	bcdefghi
1	11.533	abc	54	0.158	cdef	19	5.593	cdefghij
37	11.480	abc	55	0.155	def	42	5.035	defghij
21	11.463	abc	28	0.155	def	41	4.985	efghij
25	11.414	abc	59	0.155	def	55	4.968	efghij
28	11.413	abc	36	0.155	def	51	4.948	fghij
54	11.405	abc	58	0.155	def	52	4.860	ghij
38	11.388	abc	60	0.155	def	53	4.845	ghij
55	11.353	abc	57	0.153	ef	44	4.675	hij
26	11.280	abc	35	0.153	ef	47	4.643	ji
44	11.265	abc	31	0.150	ef	45	4.618	ji
29	11.213	abc	56	0.150	ef	46	4.575	ji
36	11.180	abc	23	0.150	ef	54	4.545	ji
27	11.178	abc	24	0.148	ef	56	4.528	ji
33	11.168	abc	33	0.145	ef	43	4.503	ji
43	11.105	abc	46	0.145	ef	58	4.473	ji
30	11.075	abc	21	0.145	ef	50	4.410	ji
31	10.958	abc	34	0.145	ef	59	4.343	ji
35	10.870	bc	32	0.145	ef	48	4.253	i
24	10.863	bc	25	0.143	f	49	4.250	i
32	10.605	c	47	0.143	f	57	4.218	i
34	10.508	c	22	0.143	f	60	4.213	i

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares ( $\alpha=0.05$ ).

T= Tratamiento.