



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE BOTÁNICA**

**SECADO DE LA SEMILLA Y SU CALIDAD FISIOLÓGICA, Y EL  
RENDIMIENTO DE FRIJOL SILVESTRE, DOMESTICADO Y SUS  
LÍNEAS**

**ALFONSO GARCÍA URIÓSTEGUI**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2015**

---

---

La presente tesis, titulada **Secado de la semilla y su calidad fisiológica, y el rendimiento de frijol silvestre, domesticado y sus líneas**, realizada por el alumno **Alfonso García Urióstegui**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
BOTÁNICA  
CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO:**



**DR. EBANDRO USCANGA MORTERA**

**ASESOR:**



**DR. JOSUÉ KOHASHI SHIBATA**

**ASESOR:**



**M.C. ANTONIO GARCÍA ESTEVA**

**ASESOR:**



**DR. GABINO GARCÍA DE LOS SANTOS**

**ASESOR:**



**DR. J. RODOLFO GARCÍA NAVA**

Montecillo, Texcoco, México. Julio de 2015

# SECADO DE LA SEMILLA Y SU CALIDAD FISIOLÓGICA, Y EL RENDIMIENTO DE FRIJOL SILVESTRE, DOMESTICADO Y SUS

## LÍNEAS

### RESUMEN

Alfonso García Urióstegui, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

La semilla de frijol silvestre presenta latencia física debido a la presencia de testa impermeable. Dicha impermeabilidad es un carácter genético que es heredada de padres a hijos. Además, las líneas presentan en algunos casos mejores rendimientos. El frijol silvestre (S13) y el domesticado Negro Tacaná (NT) fueron cruzados y se obtuvieron cinco líneas (3.3, 11.1, 51b, 53b, y 118). Se estudió el secado de la semilla y su calidad fisiológica, y el rendimiento y sus componentes en los progenitores y sus líneas. En un caso, las semillas se sometieron a secado **natural** (31 °C) en la planta en pie y en otro, a secado **artificial** (15 y 35 °C). Además, un grupo de semillas después del secado se expusieron a una prueba de vigor (envejecimiento acelerado). Se observó una respuesta diferencial al secado en la impermeabilidad de la testa al agua y en la germinación de las semillas de frijol. La calidad fisiológica de la semilla evaluada mediante el envejecimiento acelerado, también fue diferente en los progenitores y sus líneas. Con respecto al rendimiento de semilla y sus componentes, las líneas 118b y 3.3 presentaron el rendimiento más alto con respecto a los progenitores, debido a que presentaron valores mayores en los componentes del rendimiento. Algunas líneas presentaron impermeabilidad de la testa en condiciones de secado natural; mientras que al ser sometidas a secado artificial, tienden a ser permeables y conservan su calidad fisiológica, y además, presentaron rendimientos mayores con respecto a sus progenitores.

**Palabras clave:** secado de semilla, impermeabilidad, rendimiento de semilla, germinación.

# SEED DRYING, PHYSIOLOGICAL QUALITY AND SEED YIELD OF COMMON BEAN, WILD AND THEIR INBREED LINES

## ABSTRACT

Alfonso García Urióstegui, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

The wild bean seed showed physical dormancy, and it was a trait heritable to the inbreed lines. Besides, some of the inbreed lines gave higher yield than the parents. The wild (S13) and common bean (Negro Tacaná) were crossed and was obtained five lines (3.3, 11.1, 51b, 53b and 118). The plants were grown in a greenhouse. Then, it was studied the seed drying their physiological quality, and also it was assessed their yield. Two types of seed drying were employed: **natural** (31 °C), left to dry on the plant under greenhouse conditions, and **artificial**, in temperature chamber (15 and 35°C). Additionally, a group of seeds had a vigour test (accelerated aging) after dried. The results showed differentially response to seed drying to the impermeability of the seed coat and the seed germination among parents and lines. The lines 118b and 3.3 showed higher seed yield than others lines and their parents. Some lines had seed coat impermeability when drying in natural conditions, while in artificial drying the seeds increases seed coat permeability and maintain the physiological quality. In addition, the seed yield was bigger than the obtained by their parents.

**Key words:** seed drying, impermeability, seed yield, seed germination.

## **DEDICATORIA**

Con profundo respeto y admiración hacia ellos, dedico este presente trabajo a mis padres Alfonso García Rivera y Bonfilia Urióstegui Cruz, por darme esa fuerza para seguir luchando día a día, por guiarme en el camino correcto, por sus consejos y sabiduría que me orientaron a tomar las mejores decisiones y brindarme tanto apoyo moral como económico, y simplemente porque les debo la vida.

A mi abuelita, Angelina Cruz Méndez, que con la sabiduría de Dios me has enseñado a ser quien soy hoy. Por ser el gran pilar de la familia, por enseñarme a luchar hacia adelante y nunca bajar la mirada, por su gran corazón y por ser la segunda madre, que me cuidó y protegió como hijo. Gracias por llevarme en tus oraciones, porque estoy seguro siempre estoy en ellas todas las noches.

A mis hermanos, Lety, Wendy, Paty, Beto y mi gran niña Lore, que siempre estuvieron en los momentos difíciles, llenos de alegrías y lágrimas, y confiaron completamente en mí, a los que amo con todo mi corazón. Gracias por preocuparse por su hermano, por compartir sus vidas, pero sobre todo, gracias por estar en otro momento importante de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado el apoyo de una beca para realizar mis estudios de maestría, y al Colegio de Postgraduados por ser la institución que me formo como Maestro en Ciencias, especialmente al Postgrado de Botánica.

Al Dr. Gustavo Ballesteros Patrón, Dr. Edmundo García Moya y al Dr. Saúl Hernández Rojas por motivarme a realizar mi postgrado y darme el aliento para seguir superándome como profesionista y sobre todo como persona, siendo unas de las personas por la cual culmino una etapa importante de mi vida.

Al Dr. Rodolfo García Nava, por extenderme la mano de amigo y el gran ser humano que es, asesorándome en cada una de las etapas de mi trabajo de investigación, y brindarme la confianza para la realización del mismo.

Al M.C. Antonio García Esteva, por facilitarme todas las herramientas necesarias para agilizar el trabajo, y por su gran valioso apoyo y asesoramiento en cada una de las dificultades presentadas, siendo una pieza importante en este trabajo, mi admiración y respeto.

Al Dr. Ebandro Uscanga Mortera, por aceptar ser mi consejero y guiar mi trabajo, así como por cada una de las sugerencias, su acertada orientación y terminar exitosamente mi trabajo de tesis.

Al Dr. Josué Kohashi Shibata y al Dr. Gabino García de los Santos, por aceptar formar parte de mi consejo particular, y la revisión en el manuscrito así como sugerencias en el desarrollo de mi investigación.

Al Dr. Daniel Padilla Chacón y a la M.C. Petra Yáñez Jiménez, por su gran apoyo y confianza, mi admiración hacia ellos.

A los encargados del laboratorio de Biofísica y Fisiología Vegetal, Anita, Doña Lety y Doña Irma, por su gran valioso tiempo brindado en cada uno de los ensayos realizados dentro del mismo.

Al Sr. René y Sr. José Luis, por su disposición y colaboración en el trabajo desarrollado en invernadero.

A los encargados de los laboratorios de Fitoquímica, Hidrociencias, Física de suelos y Biofísica y Fisiología Vegetal, por haberme proporcionado el material necesario para el desarrollo adecuado de mi trabajo de campo y laboratorio.

A mis amigos Carlos y Zeferino, por ser pieza fundamental en mi trabajo de invernadero.

A mis amigos Patricio y Marco, por la orientación en la parte de la escritura y redacción de mi artículo.

A mi amigo Luis, por la ayuda en el análisis de mis datos.

A Etelberto, Rosy y Mario, por ser unos grandes amigos y unas brillantes personas que me apoyaron en mi estancia de dos años, en los momentos difíciles y de alegría.

A mis amigos Diana, Miguel, Hiram, Alejandra, César Adán, José Valle, Jairo, Maricela, Minerva, Charys, Betzaida y Martha por su gran amistad, y por estar presente en esta etapa de mi vida, y por compartir cada uno de los momentos.

A mi familia (Urióstegui), por estar presente en los momentos difíciles y de angustia, y sobre todo por brindarme su apoyo. GRACIAS.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
1.1 LITERATURA CITADA .....	4
<b>CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
2.1 GENERALIDADES DE LAS SEMILLAS .....	6
2.2 ANATOMÍA, FISIOLOGÍA Y MORFOLOGÍA DE LA SEMILLA DE FRIJOL.....	6
2.3 LATENCIA DE SEMILLAS .....	8
2.4 SECADO DE SEMILLAS .....	9
2.5 GERMINACIÓN DE SEMILLAS .....	11
2.6 VIGOR DE SEMILLAS .....	12
2.6.1 Prueba de Envejecimiento Acelerado (PEA).....	14
2.7 CULTIVO EN HIDROPONÍA .....	15
2.8 RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES .....	16
2.9 LITERATURA CITADA .....	17
<b>CAPÍTULO III. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN LA IMPERMEABILIDAD Y VIGOR DE LA SEMILLA DE FRIJOL</b> .....	<b>22</b>
RESUMEN .....	23
3.1 INTRODUCCIÓN .....	25
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.2.1 Material vegetal.....	27
3.2.2 Siembra y manejo de los progenitores y líneas .....	27
3.2.3 Cosecha de la semilla .....	28
3.2.4 Obtención de curvas de secado y contenido de humedad .....	29
3.2.5 Prueba de imbibición.....	30
3.2.6 Prueba de Germinación.....	31
3.2.7 Prueba de envejecimiento acelerado (PEA).....	31
3.2.8 Diseño experimental .....	32
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Obtención del contenido de humedad y curvas de secado .....	33
Prueba de imbibición de la semilla después del secado.....	36



<i>Dinámica de imbibición</i> .....	38
<i>Prueba de Germinación</i> .....	41
<i>Prueba de Germinación después del secado artificial y natural, sin y con envejecimiento acelerado</i> .....	41
3.4 CONCLUSIONES .....	47
3.5 LITERATURA CITADA .....	48
<b>CAPÍTULO IV. RENDIMIENTO DE SEMILLA, PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y FENOLOGÍA DE FRIJOL SILVESTRE, DOMESTICADO Y SUS LÍNEAS</b> .....	<b>52</b>
RESUMEN.....	53
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>54</b>
MATERIALES Y MÉTODOS .....	55
<i>Localización del experimento</i> .....	55
<i>Material vegetal</i> .....	55
<i>Siembra y manejo de los progenitores y líneas</i> .....	55
<i>Tratamientos y diseño experimental</i> .....	56
<i>Temperatura y humedad relativa</i> .....	57
Temperatura y humedad relativa.....	57
<i>Fenología y grados día desarrollo</i> .....	57
Fenología.....	57
Grados día desarrollo .....	57
<i>Variables del cultivo</i> .....	57
Rendimiento y sus componentes y biomasa.....	57
<i>Análisis estadístico</i> .....	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	58
<i>Temperatura y humedad relativa</i> .....	58
<i>Fenología y grados día desarrollo</i> .....	59
<i>Rendimiento y sus componentes</i> .....	63
<i>Biomasa e índice de cosecha modificado</i> .....	66
CONCLUSIONES.....	66
LITERATURA CITADA .....	67
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	<b>70</b>

## LISTA DE CUADROS

Pág.

### CAPÍTULO III

Cuadro 1.	pH, CE y contenido de cationes y aniones presentes en el agua utilizada para preparar la solución nutritiva.....	28
Cuadro 2.	Porcentaje de imbibición promedio de semillas de frijol con diferentes temperaturas de secado, durante 72 horas.....	36
Cuadro 3.	Porcentaje de imbibición de semillas de frijol domesticado (NT), silvestre (S13) y sus líneas a las 72 horas. ....	37
Cuadro 4.	Porcentaje de imbibición a las 72 horas de semillas de frijol dentro de progenitores (NT y S13) y sus líneas con tres temperaturas de secado.....	37
Cuadro 5.	Porcentaje de imbibición a las 72 horas de semillas de frijol por progenitores (NT y S13) y sus líneas en tres temperaturas de secado.....	38
Cuadro 6	Porcentaje de germinación de semillas de frijol en la prueba previa a la siembra, durante un período de 14 días.....	41
Cuadro 7.	Porcentaje de germinación de semillas de frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas sin y con envejecimiento acelerado con diferentes temperaturas de secado.....	42
Cuadro 8.	Porcentaje de germinación de semillas de frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas sin y con envejecimiento acelerado independientemente de las temperaturas de secado.....	43

Cuadro 9.	Porcentaje de germinación de semillas de frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas sin y con envejecimiento acelerado en las temperaturas de secado.....	44
Cuadro 10.	Porcentaje de germinación estándar sin y con envejecimiento acelerado de semillas de frijol dentro de progenitores (NT y S13) y sus líneas con temperaturas de secado, durante un período de 14 días	45

#### **CAPÍTULO IV**

Cuadro 1.	pH, CE y contenido de cationes y aniones presentes en el agua utilizada para preparar la solución nutritiva.....	56
Cuadro 2.	Grados día desarrollo (°Cd) acumulados en las fases fenológicas en el frijol silvestre (S13), el domesticado (NT) y sus líneas cultivadas en hidroponía e invernadero. Números entre paréntesis son los días después de la siembra (dds).....	62
Cuadro 3.	Rendimiento de semilla y sus componentes, biomasa e índice de cosecha, en frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas, sembrados en hidroponía e invernadero.....	65

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

### CAPÍTULO II

- Figura 1. Partes externas de la semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)..... 7

### CAPÍTULO III

- Figura 2. Pérdida de humedad en semillas de frijol contra el tiempo, con tres niveles de secado: artificial (15 y 35 °C) y natural (31 °C)..... 35
- Figura 3. Tasa de imbibición (absorción de agua) de semillas de frijol sometidas a diferentes tipos de secado..... 40

### CAPÍTULO IV

- Figura 1. Temperatura mínima, máxima y humedad relativa decenal promedio registrada durante el período mayo-agosto de 2014..... 59
- Figura 2. Duración de las fases fenológicas del frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas cultivadas en hidroponía e invernadero. S=siembra; V1=emergencia; V2=hojas primarias; V3=primera hoja compuesta; V4=tercera hoja; R5=prefloración; R6=floración; R7=formación de vainas; R8=llenado de vainas; R9=maduración..... 60

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL**

En México, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante en la dieta básica de la población, cumple diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico, y es una fuente importante de ocupación e ingreso (Paredes-López *et al.*, 2006).

Debouck (1999) indica que tanto las poblaciones silvestres como las domesticadas tienen dos centros de diversificación: el Mesoamericano y el Andino. Paredes-López *et al.* (2006) señalan que durante este proceso, las especies domesticadas muestran pérdida de la capacidad de dispersión, latencia, asincronía en sus etapas fenológicas; sin embargo, son más precoces en floración, las semillas son de mayor tamaño y por lo tanto de mayor rendimiento agronómico.

Una característica que sobresale en las semillas de especies silvestres es la presencia de latencia, debido a la impermeabilidad de la testa. Dicha impermeabilidad depende de factores externos (condiciones ambientales) e internos de las semillas.

Las condiciones ambientales tienen influencia en la calidad de las semillas, lo que se manifiesta en una pérdida de su viabilidad y el vigor de las mismas (González-Torres *et al.*, 2008).

Por otro lado, la calidad de la semilla es obtenida mediante la reducción de la humedad y utilizando temperaturas de secado adecuadas, que determinan la humedad final de la semilla para un buen almacenamiento.

Por lo tanto, es conveniente caracterizar los diferentes mecanismos de impermeabilidad y procesos de germinación en semillas silvestres de *Phaseolus*, condición que aparentemente se ha perdido en el frijol cultivado (López *et al.*, 1999; Peña-Valdivia *et al.*, 2012).

Las características de las semillas es una respuesta de la interacción del genotipo, del ambiente y de la interacción genotipo-ambiente. Peña-Valdivia *et al.* (2012) señalan que existe información limitada en los procesos fisiológicos y bioquímicos, que finalmente dependen de la expresión morfológica de las plantas.

Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar el efecto de la velocidad de secado en la impermeabilidad y vigor de la semilla; así como la producción de biomasa y rendimiento de grano de frijol silvestre, domesticado y sus líneas. Las hipótesis son: 1) Que existe un gradiente de permeabilidad en la semilla de frijoles silvestres en comparación a los domesticados y que la velocidad de secado afectará la impermeabilidad y el vigor de semillas de frijol y 2) Dentro de la variedad de frijol silvestre, domesticado y líneas, existen diferencias importantes que afectan el rendimiento y tiempo a ocurrencia de etapas fenológicas, las cuales podrían ser usadas en programas de mejoramiento genético.

La investigación se desarrolló en condiciones de laboratorio e invernadero en el Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Para el trabajo de laboratorio, un grupo de semillas cosechadas al inicio de la madurez fisiológica (50% de humedad), se sometieron a secado a temperaturas de 15 y 35 °C, hasta que contenían 10% de humedad. Otro grupo de semillas se dejó en la planta para su secado natural hasta alcanzar un 10% de humedad (etapa final de madurez fisiológica). Se evaluó la impermeabilidad al agua y el vigor de las semillas después de la aplicación de los tratamientos de secado. En invernadero se evaluó la biomasa, tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas, índice de cosecha modificado, rendimiento de grano y componentes del rendimiento. Para facilitar la presentación de los resultados, este escrito se dividió en capítulos de acuerdo a los objetivos planteados.

## 1.1 LITERATURA CITADA

- Debouck, D. G. 1999. Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean. In: Sing, S.P. (ed.), Genetic Resources of *Phaseolus* Beans. Kluwer. Dordrecht. The Netherlands. pp. 163-184.
- González-Torres, G., F. M. Mendoza-Hernández, J. Covarrubias-Prieto, N. Morán-Vázquez, y J. A. Acosta-Gallegos. 2008. Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajo. *Agric. Técn. Méx.* 34: 421-430.
- López, H. M.; Peña-Valdivia, C. B.; Aguirre, R. J. R.; Trejo, C. L., and Muruaga, J. M. 1999. Efectos de la escarificación mecánica en la germinación de *Phaseolus vulgaris* L. silvestre y domesticado. *Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata* 7: 93-98.
- Paredes-López, O., F. Guevara-Lara, y L. A Bello-Pérez. 2006. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica. México. 205 p.
- Peña-Valdivia, C. B., J. R. Aguirre R., y V. B. Arroyo P. 2012. El frijol silvestre. Síndrome de domesticación. Primera Edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. pp: 27-40.



## **CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA**

## **2.1 GENERALIDADES DE LAS SEMILLAS**

La semilla en antófitas, es el embrión en estado de vida latente o amortiguadora, acompañado o no de tejido nutricio y protegido por el episperma. Proviene del rudimento seminal que experimenta profundas transformaciones después de fecundado el ovulo que en él se contiene (Font Quer, 1985). Ésta desempeña una función fundamental en la renovación, persistencia y dispersión de las poblaciones de plantas (Doria, 2010), además pueden almacenarse vivas por largos períodos, asegurándose así la preservación de especies y variedades de plantas valiosas.

La verdadera semilla contiene un embrión y sustancias de reserva, protegidos dentro de una cubierta o testa (Arnáez y Moreira, 1996). Las principales reservas que encontramos en las semillas son grasas, carbohidratos y proteínas, localizados en el embrión o tejidos, y que están estrechamente relacionados con la germinación (Doria, 2010).

Las semillas se clasifican de acuerdo a la tolerancia a la desecación en recalcitrantes y ortodoxas. Las semillas recalcitrantes no pueden sobrevivir si se secan más allá de un contenido de humedad umbral (20 y 50% del peso húmedo) y no que no toleran el almacenamiento durante largos periodos, ejemplos de ellas son: el mango, rambután, aguacate, litchi, etc. Las semillas ortodoxas pueden secarse hasta un contenido de humedad bajo (alrededor del 5% del peso húmedo) lo que permite conservarlas por décadas a temperaturas inferiores a 0 °C en bancos de germoplasma, ejemplos de ellas son las leguminosas entre ellas el frijol (Roberts, 1973; Camacho, 1994; Berjak y Pammenter, S/N).

## **2.2 ANATOMÍA, FISIOLOGÍA Y MORFOLOGÍA DE LA SEMILLA DE FRIJOL**

Bradford y Nonogaki (2009) consideran que las semillas de las angiospermas (plantas con flores) se desarrollan a partir del óvulo, se dividen en tres partes principales, *el embrión*, el producto de la fecundación del óvulo por uno de los núcleos del tubo polínico; *el endospermo*,

generado por la fusión de dos núcleos polares del saco embrionario con el otro núcleo espermático; y *una cubierta protectora* (testa), derivado de los tegumentos ovulares interiores o exteriores.

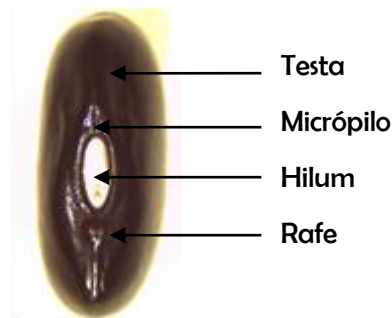
El CIAT (1984) menciona las siguientes partes externas de la semilla de frijol:

La testa o cubierta externa de la semilla, que corresponde a la capa secundina del óvulo.

El micrópilo es una abertura en la cubierta o corteza de la semilla cerca del hilo. A través de esta abertura se realiza principalmente la absorción de agua.

El hilo o cicatriz dejada por el funículo, el cual conecta la semilla con la placenta.

El rafe, lóbulo proveniente de la soldadura del funículo con los tegumentos externos del óvulo.



**Figura 1. Partes externas de la semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).**

De acuerdo a Bernal-Lugo (1987), en la estructura y composición del grano de frijol que al igual que otras leguminosas como la alfalfa, la soya, etc., se pueden distinguir dos regiones, la testa y los cotiledones. Entre los cotiledones se encuentra localizado el embrión que dará lugar a la futura planta. En la superficie del grano se localiza el hilo, que es la estructura que une el óvulo a la legumbre y el micrópilo siendo este último, un poro en la cubierta celular que une la testa con los tegumentos de los cotiledones. La testa de la semilla formada externamente por los tegumentos que representan los tejidos maternos del óvulo (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

En la química, anatomía e histoquímica de la semilla de frijol “navy”, se ha encontrado que las cubiertas de la semilla constituyen el 7.7%, los cotiledones el 9.05% y el eje embrional el 8% de materia de frijol seca respectivamente (Powrie *et al.*, 1960). Los mismos autores encontraron diferencias significativas en la composición química de los tejidos de la semilla, y demostraron la migración de agua a través de las cubiertas de las semillas hidratadas. Como lo concluyen Pérez-Herrera y Acosta-Gallegos (2002), donde la absorción de agua se llevó a cabo principalmente a través de la testa, debido a la impermeabilidad de la cubierta seminal o testa.

Moreno *et al.* (1994), realizaron investigaciones sobre la morfología y ultraestructura de la semilla de frijol de algunas especies cultivadas silvestres, reportando variaciones en la posición del hilum, forma, micrópilo, color, tamaño superficie de la semilla y longitud.

### **2.3 LATENCIA DE SEMILLAS**

De acuerdo a Doria (2010), la latencia es un estado en el cual una semilla viable no germina, aunque ésta sea colocada en condiciones idóneas para hacerlo como luz, temperatura, humedad y concentración de oxígeno. La latencia en las semillas es una adaptación fisiológica a la heterogeneidad ambiental y es el principal factor que influye en la dinámica de poblaciones naturales (Bewley *et al.*, 2013 ); existiendo también heterogeneidad de latencia entre semillas en el nivel de la planta individual (Matilla *et al.*, 2005 ).

Es importante destacar que existe un amplio rango de intensidades de latencia, que va desde la latencia absoluta, en la cual la germinación no se produce bajo ninguna condición, pasando por intensidades intermedias, donde las semillas pueden germinar en un rango de condiciones ambientales estrecho (por ejemplo cuando se incuban a cierta temperatura), hasta el extremo donde no hay latencia, y las semillas pueden germinar en un amplio rango de condiciones ambientales (Varela y Arana, 2011; Bewley *et al.*, 2013).

Entre las razones más comunes en las que se presenta la latencia en semillas, son: 1) que la cubierta seminal sea impermeable al agua o al oxígeno; 2) embrión inmaduro y 3) presencia de sustancias que actúen como inhibidores de la germinación (Bewley, 1997; Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006; Ma *et al.*, 2010).

El nivel de latencia varía según la procedencia de las semillas, el año de cosecha y varía incluso dentro de un mismo lote de semillas, de manera que en condiciones naturales, la emergencia de las plántulas ocurre en “pulsos” en un rango del espacio y el tiempo, lo que favorece el desarrollo de los nuevos individuos en ambientes ligeramente distintos, contribuyendo así a las posibilidades de regeneración y supervivencia de la especie (Varela y Arana 2011).

Toole y Toole (1986), afirman que es un hecho conocido que la semilla de muchas plantas silvestres muestran el fenómeno de latencia. También se afirma que las formas silvestres del frijol común muestran latencia en la semilla debido a la existencia de una capa impermeable sobre la testa y una cera repelente al agua que sella el hilo y micrópilo (Smartt, 1988).

## **2.4 SECADO DE SEMILLAS**

El secado de las semillas es un proceso de transferencia en el cual, la humedad es removida y absorbida de la superficie de la semilla en forma de vapor por el aire que la rodea (Valdivia, 2011). La FAO (1993), lo define como el método universal de acondicionamiento los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el aire del ambiente, de tal forma que preserve su integridad, como sus características de su calidad nutritiva y la viabilidad de la semilla.

El secado se puede efectuar en forma natural o artificial (Facio y Dávila, 1984). En el secado natural se usa una combinación de la radiación solar y el movimiento natural del aire. Éste no debe

prolongarse por periodos mayores de una semana debido a que la calidad disminuye (Araya, 2010).

Para muchos cultivos, es muy común que se dejen las plantas en el campo para que se sequen, luego se cosechan cuando las semillas alcanzan niveles de humedad entre el 20 y 22% (FAO, 1993).

El secado natural resulta riesgoso en climas húmedos y con alta precipitación pluvial, debido a que las semillas son higroscópicas, lo que dificulta el proceso de secado al no alcanzar fácilmente los niveles de humedad deseados (Dávila, 1983).

El secado artificial incluye el uso de técnicas más sofisticadas, tales como el uso de estufas (FAO, 1993). Asimismo, se recomienda el empleo de secadoras que regulen la temperatura, conocidas como “estáticas”. Este procedimiento de secado incluye el secado a altas temperaturas y el secado a bajas temperaturas

El secado a altas temperaturas se caracteriza por el empleo de aire calentado por lo menos a 10 °C arriba de la temperatura ambiente. La velocidad de secado es más alta y exigen un manejo más cuidadoso para lograr que la semilla se seque uniformemente y no se quemem (ASERCA, 2009).

La temperatura ideal de secado de la semilla varía de 35 a 45 °C, y depende de la variedad, humedad del grano y condiciones ambientales. Mientras más alto es el contenido inicial de humedad, más alta es la susceptibilidad de la semilla de ser dañada durante el secado, si se emplean temperaturas muy altas. Por eso, la semilla de granos básicos con contenido de humedad entre 30 y 33% (madurez fisiológica), es recomendable secarla a temperaturas menores de 40 °C. Mientras que con humedad de 20% o menos, la temperatura de secado se puede incrementar hasta un máximo de 45 °C para lograr reducir la humedad de la semilla a 12-14% (Valdivia, 2011).

Los procedimientos de secado a altas temperaturas se caracterizan por el empleo de aire calentado por lo menos a 10 °C sobre la temperatura ambiente (ASERCA, 2009).

El proceso de secado de semilla debe ser lento, con una temperatura máxima de 35 °C. De esta manera se evita el calor excesivo y la pérdida muy rápida del agua, la cual produce daños al embrión (Martínez *et al.*, 2013).

Se denominan procedimientos de secado a bajas temperaturas, aquellos que usan aire a temperatura entre 3 y 5 °C arriba de la temperatura ambiente. Estos procedimientos de secado a baja temperatura emplean flujos específicos de aire con el inconveniente que son lentos y tardan días o semanas en alcanzar la humedad deseada del producto, con el peligro de su deterioro (ASERCA, 2009).

Con el secado artificial, se logra conservar mejor la calidad de las semillas, se reduce el tiempo de secado y se facilita la cosecha y almacenamiento de las mismas, tanto en climas húmedos como en secos (Facio y Dávila, 1984). De ese modo, el secado de semillas constituye una herramienta fundamental en la producción de semillas de alta calidad, reduciendo al mínimo los impactos que podrían afectar su calidad durante esas etapas (Amaral y Teichert 2012).

## **2.5 GERMINACIÓN DE SEMILLAS**

La germinación es la reanudación del crecimiento del embrión (Copeland y McDonald, 1985; Bidwell, 1990).

El proceso de germinación está constituido por varias etapas sucesivas (Koornneef *et al.*, 2002):

- a) Absorción de agua por la semilla o imbibición;
- b) Activación del metabolismo y proceso de respiración, síntesis de proteínas y movilización de sustancias de reserva;

c) Elongación de las células del embrión y ruptura de la testa a través de la cual se observa la salida de la radícula.

El proceso de germinación está influenciado tanto por factores internos como externos. Entre los factores internos se encuentra la madurez y viabilidad de la semilla. Dentro de los factores externos están la temperatura, humedad, respiración, metabolismo de la germinación y disponibilidad de gases (Ramón y Mendoza, 2002; Melgoza, *et al.*, 2003; Alzugaray *et al.*, 2007).

## **2.6 VIGOR DE SEMILLAS**

La ISTA (2001) define al vigor como la “suma de aquellas propiedades que determinan la actividad y el comportamiento, en un amplio rango de ambientes, de lotes de semillas de germinación aceptable”.

Los conceptos de vigor y deterioro están fisiológicamente ligados y son aspectos recíprocos que inciden en la calidad de la semilla. El deterioro tiene una connotación negativa, mientras que el vigor tiene un significado positivo: el vigor disminuye a medida que el deterioro aumenta por incremento de la temperatura y la humedad relativa en el tiempo de almacenamiento (Aramendiz *et al.*, 2007).

La mayoría de las pruebas de vigor requieren relativamente mucho tiempo y son costosas en comparación con las pruebas de germinación (Sako *et al.*, 2001).

De acuerdo a Copeland y McDonald (2001), la prueba de germinación es el procedimiento más usado y aceptado como indicador de la calidad de un lote de semillas. Sin embargo, debido a que se realiza bajo condiciones óptimas para cada especie, sobreestima el comportamiento de las semillas.



Evaluar el vigor de las semillas es de gran utilidad para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del medio no son favorables para la germinación y emergencia de las plántulas (Moreno, 1996).

Peretti (2007) mencionó que el vigor de las semillas no es un atributo medible fácilmente, sino que es un concepto múltiple asociado a diferentes características relacionadas con el comportamiento de las simientes, tales como:

- Integridad física de las semillas o de las membranas celulares
- Sanidad
- Velocidad y uniformidad de germinación y de crecimiento de plántulas,
- Emergencia de las plántulas bajo condiciones ambientales desfavorables
- Capacidad de mantener la viabilidad después del almacenamiento entre otros.

Las pruebas de vigor son muy empleadas en lotes comerciales de semillas de los principales cultivos (Salinas *et al.*, 2001). Los requerimientos necesarios para la prueba de vigor están establecidos (ISTA, 2004) para muchas especies, siendo una de las cuestiones centrales para que se dé una buena relación entre los resultados de germinación y el resultado práctico de la prueba de vigor. Este último se refiere a la emergencia en el campo o al potencial de almacenamiento de la semilla, pero también puede ser emergencia en invernadero o crecimiento de plántulas (Salinas *et al.*, 2001). Por tal motivo, dos lotes de semilla con idénticos niveles de germinación pueden comportarse en forma diferente en condiciones de campo adversas, debido a diferencias en su vigor. El establecimiento rápido de las plántulas es el reflejo de la capacidad de la semilla para producir una plántula con posibilidades a completar exitosamente su ciclo biológico, y se expresa como porcentaje de viabilidad, atributo que es considerado en la definición de vigor y calidad de semilla (Dornbos, 1995).

Las diferencias en el vigor de la semilla son consecuencia de la constitución genética, ambiente y nutrición de la planta madre, estado de madurez que tiene la semilla al momento de la cosecha, tamaño, peso y su densidad específica, integridad mecánica, deterioro, almacenamiento y la presencia de patógenos; aspectos que se deben considerar al estudiar la calidad de la semilla, ya que el vigor es el resultado de la interacción de factores muy diversos y complejos (Perry, 1973).

El estudio de los genotipos tanto silvestres como domesticados en una gama de condiciones bióticas y abióticas, ayudaría a descartar los menos aptos e identificar y seleccionar los mejores; esto reduciría tiempos y costos, a la vez que podrían hacerse recomendaciones a los fitomejoradores sobre cuales recursos genéticos deban ser considerados para el programa de mejoramiento (Gómez, 1992).

Las pruebas de vigor actualmente propuestas se agrupan en tres categorías (Bennett, 2002): 1) Pruebas de estrés: “prueba de frío y envejecimiento acelerado”, 2) Pruebas bioquímicas: “conductividad eléctrica y prueba de tetrazolio”, y 3) Pruebas de evaluación y germinación y crecimiento de plántulas: “análisis de imágenes y primer conteo de la prueba de germinación”.

La prueba de envejecimiento acelerado, es una de las pruebas de vigor que ayudan a determinar los efectos de las semillas a largo plazo de los niveles esperados de estrés en un plazo más corto y estimar la vida útil.

### **2.6.1 Prueba de Envejecimiento Acelerado (PEA)**

La PEA consiste en someter lotes de semillas a estrés por períodos cortos (48 y 144 horas según las especies, Hampton y Tekrony, 1995). Dichos estrés se obtiene a temperatura y humedad relativamente alta (95 °C y 100%, respectivamente) durante la prueba, las semillas aumentan su contenido de humedad, debido a que absorben humedad del ambiente. Esta prueba causa la alteración de las estructuras y funcionamiento de las membranas celulares (Marcos Filho, 1999).

Las semillas que resisten dichas condiciones estresantes, se deterioran más lentamente que las semillas de baja calidad fisiológica y por lo tanto, son consideradas vigorosas (ISTA, 2003).

La PEA evalúa la calidad fisiológica de la semilla y se ha empleado para predecir la capacidad de almacenamiento de las semillas de los diversos cultivos (Moreno, 1996). Además, predice el porcentaje de la emergencia en campo de las plántulas aún bajo condiciones ambientales desfavorables en la cama de siembra (Torres *et al.*, 2004).

Algunos autores (Zelener *et al.*, 1990; Anfinrud, 1997), realizaron evaluaciones en diferentes condiciones de envejecimiento acelerado y concluyeron que los tratamientos a altas temperaturas y humedad se correlacionan positivamente con la emergencia en campo.

## **2.7 CULTIVO EN HIDROPONÍA**

El cultivo hidropónico en combinación con el cultivo en invernaderos surge como alternativa a la agricultura tradicional. Esta alternativa tiene el interés de eliminar o disminuir los factores que son limitantes en el crecimiento y producción vegetal (Durán *et al.*, 2000; Cánovas, 2001).

Estos sistemas tienen ventajas: 1) requieren de un menor número de horas de trabajo que los sistemas convencionales de producción, existiendo un ahorro sensible en mano de obra; 2) no existe competencia por los nutrientes y el sistema radical desarrolla mejor sin impedimentos físicos ni nutricionales; 3) uso eficiente de agua, debido a que no hay pérdidas por filtración y evaporación; 4) se obtienen varias cosechas por año (Sánchez *et al.*, 1999; Mundo *et al.*, 2013).

Los sistemas hidropónicos se dividen en dos grandes grupos: 1) *los abiertos o a solución perdida*, en el que la solución nutritiva es desechada y, 2) *los cerrados*, donde la solución nutritiva se recircula aportando de forma continua los nutrimentos que la planta va requiriendo (Alarcón, 2005).

## 2.8 RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

El rendimiento en las plantas es el resultado de la interacción del genotipo, medio y prácticas agrícolas (Kohashi-Shibata, 1991). El ser humano, a través de las prácticas agrícolas realiza asociación y rotación de cultivos así como la manipulación del genotipo al mejorarlo genéticamente; esto con el interés de favorecer el desarrollo de la planta lo que se expresaría en mejores rendimientos (Jurado *et al.*, 1995).

Existen dos tipos de rendimiento: el rendimiento biológico, que está constituido por la materia seca de la planta llamada biomasa total, y el rendimiento agronómico, que constituye aquel órgano de la planta de interés antropocéntrico (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1993).

Los componentes del rendimiento se definen como las características tanto morfológicas como fisiológicas que constituyen de manera directa o indirecta la producción final del grano de la variedad y que influyen en el rendimiento final (Martínez, 1987; Castro *et al.*, 2002)

Los principales componentes morfológicos del rendimiento son aquellos que se relacionan con los órganos aéreos y subterráneos (Martínez, 1987) y que se enumeran de la siguiente manera (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1993): número de vainas y número de semillas normales por vaina, siendo estos los componentes más correlacionados con el rendimiento, además de tamaño de semilla, número de flores, número de botones, número de racimos florales, número de nudos y número de ramas

Los principales componentes fisiológicos del rendimiento, están genéticamente controlados y son: la acumulación de biomasa, el índice de cosecha y el tiempo requerido por el cultivo para alcanzar la madurez de la cosecha (Wallace *et al.*, 1993). Los mismos autores recomiendan el acoplar el cultivo con las mejores condiciones ambientales en una región dada.

## 2.9 LITERATURA CITADA

- Alarcón, V. A. L. 2005. Soluciones nutritivas y fertirriego. Consideraciones, manejo y diagnóstico en cultivo sin suelo. *Rev. Tecnoagro*. 6:16-19.
- Alzugaray, C., N. Carnevale, A. Salinas, y R. Pioli. 2007. Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltld. *Rev. Iberoam. Micol*, 24:142-147.
- Amaral, V. F., y S. P. Teichert. 2012. Avances en el secado de semillas y uso del aire deshumidificado por refrigeración. *Seed News*. La revista internacional de semillas. Año XVI - N. 4. (Consultado 22/06/2015) en:  
[http://www.seednews.com.br/html/site\\_es/content/reportagem\\_capa/imprimir.php?id=134](http://www.seednews.com.br/html/site_es/content/reportagem_capa/imprimir.php?id=134).
- Anfinrud, M. N. 1997. Planting hybrid seed production and seed quality evaluation. In: SCHNEITER, A.A. (ed.). *Sunflower technology and production*. Madison: Amer. Soc. Agron. pp: 697-708.
- Aramendiz, T. H., C. Cardona, A. Jarma, J. Robles, y R. Montalván. 2007. Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agron. Col*. 25: 104-112.
- Araya, R., W. Quirós, O. Carrillo, M. V. Gutiérrez, y A. Murillo. 2010. Semillas de buena calidad. Food and Agriculture Organization, Costa Rica. Proyecto FAO: GCP/RLA/182/SPA. 39 p.
- Arnáez, E. S., y I. G. Moreira. 1996. Cursos para profesores: Mejoramiento genético, selección y manejo de fuentes semilleras y se semillas forestales. Unidad 3: Recolección y manejo de semillas forestales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp: 1-5.
- ASERCA. 2009. “El manejo de los granos básicos”. Apoyo y Servicio a la Comercialización Agropecuaria. Boletín No. 21/09. SAGARPA. México.
- Bennett, M. 2002. Saturated salt accelerated aging (SSAA) and other vigor tests for vegetable seeds. In: *Proceedings International Seed Seminar: Trade, Production and Technology*. Edts. McDonald M. and Contreras S. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Ciencias Vegetales. October, 15th and 16th. Santiago- Chile. pp: 188-193.
- Berjak, P., y N. W. Pammenter. S/N. Semillas ortodoxas y recalcitrantes. Manual de semillas de Árboles Frutales. Unidad de Investigación de Biología Celular de Plantas. Facultad de Ciencias de la Vida. Natal, Durban. pp:143-155.

- Bernal-Lugo, I. 1987. Endurecimiento del frijol: causas y naturaleza del fenómeno. *Boletín de Educación Bioquímica*. 6:71-77.
- Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The plant cell* 9: 1055-1066.
- Bewley, J. D., K. Bradford, H. Hilhorst, and H. Nonogaki. 2013. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. 3rd Ed. New York: Springer-Verlag. 329 p.
- Bidwell, R. G. S. 1990. *Fisiología Vegetal* Primera edición. AGT. Editor. México. pp: 75-78.
- Bradford, K., and H. Nonogaki. 2009. *Seed Development, Dormancy and Germination*. Annual Plant. Rev. Vol. 27 Oxford: Blackwell. 392 p.
- Camacho, F. 1994. *Dormición de semillas: causas y tratamientos*. México, DF: Editorial Trillas, 128 p.
- Cánovas, M. F. 2001. Manejo del cultivo sin suelo: *In: El Cultivo del tomate*. F. Nuez. Mundiprensa. España pp: 227-254.
- Castro, C. G. 2002. Fenología, crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del tipo de suelo. Tesis de Maestría. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 140 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1984. *Morfología de la planta de frijol común; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema*. Contenido Científico: Debouk D. G. e Hidalgo R. Producción: Ospina O., Héctor F., Flor M., Carlos A. Segunda Edición. (Serie 04SB-09.01). Cali, Colombia. 56 p.
- Copeland, L. O., and M. B. McDonald. 1985. *Principles of seed science and technology*. 2a. Ed. Burgess publishing company. Minneapolis, Minnesota. pp: 63-75.
- Copeland, L. O., and M. B. McDonald. 2001. *Principles of seed science and technology*. 4th ed. Kluwer Academic Publishers, EUA. 467 p.
- Dávila, C. S. I. 1983. Alternativas y problemas de secado de semillas de sorgo, forrajeras y hortalizas. *Memorias del curso de actualización sobre tecnología de semillas*. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. Pp: 37-40.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cult. Trop.* 31: 74-85.
- Dornbos, L. D. 1995. Seed vigor. In: Basra A. S. (ed.). *Seed qual.* Haworth. New York, USA. pp: 45-79.

- Durán, J. M., E. Martínez, y L. M. Navas. 2000. Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía. En línea: [http://www.eumed.net/articulos/vr/hortofrut/1\\_01\\_cultivos.html](http://www.eumed.net/articulos/vr/hortofrut/1_01_cultivos.html). (Revisado el 25 Febrero de 2015).
- Escalante, E. J. A., y S. J. Kohashi. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mpio. de Texcoco, Méx. 84 p.
- Facio, P. F., y L. S. I. Dávila. 1984. Acondicionamiento de semillas. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. 79 p.
- FAO, 1993. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1993). <http://www.fao.org>
- Finch-Savage, W. E., and G. Leubner-Metzger. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phyt.* 171: 501-523.
- Font Quer, P. 1985. Diccionario de Botánica. Editorial Labor, S.A. I.S.B.N. 84-335-5804-8. Barcelona. 977 p.
- Gómez, G. O. J. 1992. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) considerando longevidad y vigor de semillas como criterios iniciales de selección. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 86 p.
- Hampton, J. G., and D. M. Tekrony. 1995. Handbook of vigour test methods. 3ed. Ed. Zurich, ISTA. 117 p.
- ISTA. 2001. International Rules for Seed Testing. Zurich, ISTA. pp:15-1/15-9.
- ISTA. 2003. International Rules for Seed Testing. Zürichstr, 500 p.
- ISTA. 2004. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Bassersdorf, CH-Switzerland. 56 p.
- Jurado, O. R. J. 1995. Crecimiento, rendimiento y sus componentes del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función de nitrógeno. Tesis de Maestría. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 151 p.
- Kohashi-Shibata, J. 1990. Morfología y fisiología del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. Terra. 8: 3-16.
- Koornneef, M., L. Bentsink, and H. Hilhorst. 2002. Seed dormancy and germination. *Current Opinion. in Plant Biol.* 5:33-36.
- Ma, H. Y., Z. W. Liang, M. M. Liu, M. Wang, and S. H. Wang. 2010. Mechanism of the glumes in inhibiting seed germination of *Leymus chinensis* (Trin.) Tuzel (Poaceae). *Seed Sci. Technol.* 38: 655-664.

- Marcos Filho, J. 1999. Teste de envelhecimento acelerado. (Cap. 3, 1-24). En: Vigor de sementes: Conceitos e testes. ABRATES. (Ed. Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D.; Franca neto, J.B.). Londrina, PR, Brasil. 218 p.
- Martínez, C. 1987. Aspectos fisiológicos en cultivo de papa. El cultivo de la papa con énfasis en la producción de la semilla. Universidad Nacional Agrícola. “La Molina”. Lima, Perú. pp: 36-39.
- Martínez, U. K., Z. A. López, y W. A. Murillo. 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). San José, Costa Rica.
- Matilla, A., M. Gallardo, and M. I. Puga-Hermida. 2005. Structural, physiological and molecular aspects of heterogeneity in seeds: a review. *Seed Sci. Res.* 15: 63–76.
- Melgoza, A., M. H. Royo, C. R. Morales, y J. S. Sierra. 2003. Germinación de semillas de hierba loca (*Astragalus mollissimus* Torr) con diferentes niveles de humedad y temperatura. *Tec. Pecu. Méx*, 41: 85-89.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa Universitario de Alimentos, UNAM. México. 393 p.
- Moreno, S. L., R. K. Maiti, J. L. Hernández-Piñero, y A. González. 1994. Morfología, ultraestructura y contenido de minerales en semilla y desarrollo de la plántula de 5 especies silvestres, una semicultivada y una cultivada de frijol (*Phaseolus* spp). *Phyton*, 55: 9-22.
- Mundo, G. C. F. 2013. Proyecto tecnología hidroponía-producción de jitomates y lechugas. Tesis de licenciatura. Ingeniero Agrónomo. UNAM. 208 p.
- Pérez-Herrera, P., y J. A. Acosta-Gallegos. 2002. Permeabilidad de la testa y la porción micropilohilio en semilla de frijol silvestre y cultivado. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 57-63.
- Peretti, de M. A. 2007. Hacia el vigor de las semillas en Argentina. *Rev. Anál. Sem.* Tomo 1. 1: 47-53.
- Perry, D. A. 1973. Interacting effects of seed vigour and environment on seedling establishment. In: W. Heydeker (Ed.). *Seed ecol.* Butterworths London. pp: 311-323.
- Powrie, W. U., W. Adams, and L. I. Pflug. 1960. Chemical, Anatomical and histochemical studies on the navy bean seed. *Agron J.* 52: 163-167.
- Ramón, M., y C. Mendoza. 2002. Efecto del deterioro post-corte sobre la germinación de la semilla asexual de cinco variedades de caña de azúcar. *Rev. Fac. Agron.* 19: 264-272.
- Roberts, E. H. 1973. Predinting the storage life of sedes. *Seed Sci. Technol.* 1: 499-514.



- Sako, Y., M. B. McDonald, K. Fujimura, A. F. Evans, and M. A. Bennett. 2001. A system for automatic seed vigor assessment. *Seed Sci. Technol.* 29: 625-636.
- Salinas, A. R., A. M. Yoldjian, R. M. Craviotto, y V. Bisaro. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesq. agropec. bras.* 36: 371-379.
- Sánchez, del C. F., C. J. Ortiz, C. M. C. Mendoza, H. V. A. González, y L. M. T. Colinas. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia.* 33: 21-29.
- Smartt, J. 1988. Morphological, physiological and biochemical changes in *Phaseolus* beans under domestication. In: Gepts, P. (ed.). *Genetic Resources in Phaseolus beans*. Kluw. Acad. Publis. pp: 143–161.
- Toole, E. H., y V. K. Toole. 1986. Hasta que el tiempo y lugar sean favorables. En: *Semillas*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. *Semillas*. CECSA. pp: 190–201.
- Torres R. M., R .D. Vieira, and M. Panobianco. 2004. Accelerated aging and seedling field emergence in soybean. *Sci. Agric.* 61: 476-480.
- Varela, A. S., y V. Arana. 2011. Latencia y Germinación de semillas. Tratamientos Pregerminativos. Serie Técnica “Sistemas Forestales Integrados”. Sección silvicultura en vivero, cuadernillo Núm. 3. Área Forestal-INTAEEA. Bariloche, Argentina. 10 p.
- Valdivia, L. R. R. 2011. Secamiento de granos o semillas de maíz. *Agricultura para las Necesidades Básicas* (En línea) consultado el 10 de Mar 2013. CATHOLIC RELIEF SERVICES. Disponible en: <http://www.a4n.com.sv/es-biblioteca/-ver.php'd=308>.
- Zelener, N., R. M. Craviotto, G. Duret, y I. C. Capriglion. 1990. Prueba de envejecimiento acelerado en girasol (*Helianthus annuus* L.) e interpretación de sus resultados. In: SEMINARIO PANAMERICANO DE SEMILLAS, 13, Guatemala, 20/24 ago. Acta. Guatemala: FELAS. pp: 30-36.
- Wallace, D. H., R. W. Zobel, and K. S. Yourstone, 1993. A whole system reconsideration of paradigms about photoperiod and temperature control of crop yield. *Adv. Agron.* 24: 97-146.

**CAPÍTULO III. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN LA  
IMPERMEABILIDAD Y VIGOR DE LA SEMILLA DE FRIJOL**

# **EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN LA IMPERMEABILIDAD Y VIGOR DE LA SEMILLA DE FRIJOL**

## **RESUMEN**

Alfonso García Urióstegui, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

Las poblaciones silvestres de *Phaseolus vulgaris* L. presentan latencia debido a la impermeabilidad de la testa. Por lo tanto, cuando se trabaja con ellas es difícil obtener porcentajes de germinación deseable. Estudios han demostrado que la velocidad de secado de la semilla modifica la permeabilidad de la testa y el vigor de las de las mismas. En base a lo anterior se planteó el objetivo de determinar el efecto de la velocidad de secado en la impermeabilidad de la testa, y vigor de semillas de frijol silvestre, domesticado y sus líneas. El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero y laboratorio. Semilla de frijol silvestre (S13), domesticado (Negro Tacaná) y sus líneas (11.1, 3.3, 51b, 53b y 118b) se secaron a 15 y 35 °C (secado *artificial*) y 31 °C (secado natural). Los tratamientos tuvieron diseño completamente al azar en arreglo factorial con dos factores: 1) los progenitores y sus líneas y, 2) temperaturas de secado. Para el secado artificial, las semillas de frijol fueron cosechadas con un contenido de humedad del 50% y secadas en una estufa hasta el 10 % de humedad. Para el secado natural se cosecharon cuando tuvieron el 10 % de humedad. El tiempo requerido para alcanzar la humedad del 10 % fue diferentes para los progenitores y sus líneas. La impermeabilidad de la testa medida mediante la imbibición fue afectada por la velocidad de secado. El secado artificial incrementó la permeabilidad de las líneas 11.1 y 51b; mientras que en la 53b la disminuyó El vigor de la semilla medido mediante la germinación y el envejecimiento acelerado demostró que la velocidad de germinación lo afectó. El secado artificial incremento el porcentaje de germinación de 51b, 11.1 y 118b; mientras que el natural los disminuyó. El envejecimiento acelerado disminuyó el porcentaje

de germinación en el NT y el S13, lo que indica que estos tienen un menor vigor. Sin embargo, en el 11.1, 51b y 118b, indicio que tiene mayor vigor. La velocidad de secado natural modificó la impermeabilidad de la testa y el vigor de las semillas.

**Palabras claves:** *Phaseolus vulgaris* L, latencia, velocidad de secado, germinación.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En México y América Latina, el frijol es un alimento importante para el consumo humano (Jones, 1999), dicha importancia es debida a la adaptación que ha tenido esta especie a diversidad de ambientes (López-Soto *et al.*, 2005).

Para el frijol, se ha descrito que la mayor variabilidad genética se encuentra contenida en materiales silvestres (Sonnante *et al.*, 1994; Gepts, 1998). En los materiales silvestres, la mayor parte de las semillas presentan impermeabilidad y sólo germinan cuando son expuestas a ciertas condiciones ambientales. Sin embargo, en materiales domesticados, las semillas de los cultivares germinan generalmente al momento de la siembra debido a que se encuentran con todas las condiciones favorables (Smýkal *et al.*, 2014). Los materiales domesticados también han sido seleccionados para mejorar la calidad fisiológica de las semillas, lo cual se refleja en su porcentaje de germinación y vigor (Delouche, 2002; Bewley *et al.*, 2013). El porcentaje de germinación y el vigor se presenta en mayor proporción en poblaciones domesticadas y es escaso en poblaciones silvestres (Celis-Velázquez *et al.*, 2010).

El porcentaje de germinación y vigor en semillas puede estar asociado con la impermeabilidad en las semillas, propiedad innata en las semillas que definirá las condiciones para su germinación, lo que evitará condiciones desfavorables en el crecimiento y establecimiento posterior de las plántulas (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

Artificialmente, la impermeabilidad de las semillas se puede aumentar mediante el secado en las mismas. Y por lo tanto, se aumentará su longevidad. Sin embargo, en la literatura revisada se han encontrado pocos estudios acerca del efecto del secado en semillas de frijol. La tolerancia al secado en semillas de *P. vulgaris* (Cv. Vernel) puede estar relacionado con cambios bioquímicos y

el porcentaje de germinación, aunque este no está relacionado con el vigor de las semillas (Bailly *et al.*, 2001).

Debido a la escasa información que se encontró acerca del efecto del secado de la semilla durante su ontogenia se planteó la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la temperatura de secado en la impermeabilidad y el vigor de la semilla de frijol silvestre, domesticado y sus líneas.

## **3.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo se desarrolló en condiciones de invernadero y de laboratorio de Biofísica y Fisiología Vegetal Ambiental del Posgrado de Botánica en el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2014, en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, que se localiza entre los 19° 29' Latitud Norte y a 98° 53' Longitud Oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 2250 m. El clima es el menos seco de los áridos (BS1) con lluvias en verano, media anual de 14.6 °C y 559 mm de precipitación anual (García, 2005).

### **3.2.1 Material vegetal**

El frijol silvestre (S13) de crecimiento indeterminado trepador, semillas pequeñas y vainas dehiscentes (Delgado *et al.*, 1988) y frijol cultivado Negro Tacaná (NT) de crecimiento indeterminado arbustivo tipo II (Rosales-Serna *et al.*, 2004), fueron utilizados para la producción de las líneas (11.1, 3.3, 53b, 51b y 118b) por el Dr. Jorge Acosta Gallegos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El frijol silvestre (S13) fue inscrito en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) con el número G23429, y originalmente recolectado en Santa Isabel, municipio de Cholula, Edo. de Puebla, México. El frijol cultivado (NT) fue inscrito en el Journal of Crop Sciences (López-Salinas *et al.*, 1997).

### **3.2.2 Siembra y manejo de los progenitores y líneas**

La siembra de los progenitores y líneas se realizó en invernadero el 13 de mayo de 2014 en vasos de poliestireno con 250 mL de tezontle como sustrato. Se regó con agua destilada durante los primeros cinco días. A partir del sexto día después de la siembra (dds) se aplicó solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) con un potencial osmótico de -0.036 MPa. Cuando las plantas presentaron las hojas simples desplegadas (10 o 12 dds dependiendo de los progenitores y líneas), se trasplantaron a macetas de plástico de 28.5 cm de diámetro superior, 26 de diámetro inferior y

35 de altura a cada una de las cuales se les agregó 19 kg de tezontle, con partículas menores a 1 cm. A partir del trasplante se regó diariamente con solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.072 MPa, y una vez cada siete días, con agua acidulada con un pH de 5.5. Se utilizó un sistema hidropónico abierto.

Para la preparación de la solución nutritiva se utilizó agua de la llave cuyo pH, conductividad eléctrica y contenido de iones se presenta en el Cuadro 1. El contenido de iones se tomó en cuenta para hacer los ajustes de las cantidades de los fertilizantes utilizados. Se ajustó el pH a 5.5 con ácido sulfúrico comercial 1N y se adicionaron fertilizantes comerciales. Para los macronutrientes se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984), cuya concentración en mol<sub>c</sub>m<sup>-3</sup> de iones es: 7 de K<sup>+</sup>, 9 de Ca<sup>2+</sup>, 4 de Mg<sup>2+</sup>, 12 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 1 de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y 7 de SO<sub>4</sub><sup>-</sup>; con un potencial osmótico de -0.072 Mpa. Se emplearon fertilizantes comerciales excepto para el fosfato de potasio para el cual se utilizó sal grado reactivo. Los micronutrientes se adicionaron mediante el uso del producto Fermil<sup>®</sup> Soluble.

**Cuadro 1. pH, CE y contenido de cationes y aniones presentes en el agua utilizada para preparar la solución nutritiva.**

pH	CE*	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Σ(+)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ(+)
	ds m <sup>-1</sup>	-----Aniones (meq L <sup>-1</sup> )-----					-----Cationes (meq L <sup>-1</sup> )-----				
7.23	0.515	0	3.70	0.60	0.56	4.86	1.30	2.10	0.80	0.06	4.26

\*CE = conductividad eléctrica. Análisis químico realizado en el laboratorio del Posgrado en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados.

### 3.2.3 Cosecha de la semilla

Se realizaron seis cosechas a partir de los 93 hasta los 116 (dds) para cada progenitor y sus líneas, cuando la semilla estaba formada y en madurez fisiológica. Otros criterios para la cosecha fueron el cambio de color de la vaina y la humedad de la semilla (± 50%), para posteriormente ser



sometidas al secado artificial (15 y 35 °C). Para el secado natural en planta (en invernadero, 31 °C) las semillas se cosecharon cuando inició la dehiscencia ( $\pm 10\%$ ).

La semilla de cada progenitor y sus líneas se colocaron en bolsas de polipropileno y se guardó en el laboratorio a 5 °C hasta su uso.

### **3.2.4 Obtención de curvas de secado y contenido de humedad**

Para cotejar que las semillas que se iban a someter al secado artificial tuvieran  $\pm 50\%$  de humedad, se pesó (peso fresco, PF) una muestra aleatorias de 10 semillas con tres repeticiones por cada progenitor y líneas. Posteriormente, las muestras se secaron en una estufa a 105 °C por 17 horas (Besnier, 1989) y se pesaron (peso seco, PS). Los valores de peso se sustituyeron en la ecuación (1) sugerida por Turner (1981).

(1)

$$PH = [(PF - PS) / PS] (100)$$

donde:

PH = porcentaje de humedad.

PF = peso fresco de la semilla.

PS = peso seco de la semilla.

La semilla que se cosechó cuando tenían  $\pm 50\%$  se dividieron en dos grupos: Un grupo se secó a una temperatura de 15 °C y otro grupo a 35 °C en estufas de secado (RiOSSA, modelo E-51) hasta 10% de humedad.

Durante el secado, se registró el peso de la semilla cada 24 horas. Dicho valor, él de la humedad inicial (50%), él de la humedad final (10%) se sustituyeron en la ecuación (2), sugerida

por Ellis *et al.* (1985) para obtener porcentajes de humedad cada 24 h, los cuales fueron graficados y se ajustaron curvas de pérdida de humedad.

(2)

$$PH = (100 - PIH) (PST_i) / (100 - PFH)$$

donde:

PH = porcentaje de humedad

PIH = porcentaje inicial (50%) de humedad de la semilla

PST<sub>i</sub> = peso de la semilla en el tiempo *i*

PFH = porcentaje final (10%) de humedad después del secado

Una vez alcanzado el 10% de humedad en las diferentes temperaturas de secado, la semilla se desinfectó poniéndola en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 10%, posteriormente se secaron con papel absorbente y se realizaron las siguientes pruebas:

### 3.2.5 Prueba de imbibición

A 10 semillas seleccionadas al azar de cada tratamiento y de cada progenitor y líneas se les registró su peso individual y se colocaron en cajas Petri que, en el fondo se les puso papel filtro y agua destilada. Durante un periodo de 72 horas a intervalos de 8 horas, dichas semillas se pesaron individualmente en una balanza analítica marca Scientech® Series 12000. Los valores se sustituyeron en la ecuación (3) sugerida por García y Bressani (1985), para obtener el porcentaje de imbibición

(3)

$$PI = [(PST_i - PST_0) / PST_0] (100)$$

donde:

PI = porcentaje de imbibición

$PST_i$  = peso de semillas en el tiempo  $i$

$PST_0$  = peso de la semilla en el tiempo cero

### **3.2.6 Prueba de Germinación**

El método utilizado fue “entre papel” (ISTA, 2004), el sustrato consistió en extender dos toallas de papel absorbente (sanitas) previamente humedecidas con agua destilada sobre una superficie plana, y sobre las cuales se colocaron las semillas distribuidas uniformemente; posteriormente se cubrieron en otras dos toallas húmedas y se doblaron para formar un rollo, acomodándose en forma vertical en bolsas de plástico y manteniéndolas húmedas durante los días que duró la prueba, con excepción de cuatro repeticiones de 25 semillas para cada uno de los tratamientos, con registro del porcentaje de germinación total a los 14 días. Se registró el porcentaje de semillas germinadas cada 24 horas durante los 14 d. Se consideró que una semilla había germinado cuando su radícula tenía 3 mm de longitud. Las bolsas con rollos se colocaron en un germinador Seedburo a una temperatura de 25 °C en la obscuridad.

### **3.2.7 Prueba de envejecimiento acelerado (PEA)**

La metodología que se utilizó fue la propuesta por Delouche (1996); el envejecimiento acelerado consistió en someter las semillas de cada progenitor y línea y secado en cajas “sandwicheras” de plástico que contenían 50 mL de agua destilada para generar una humedad relativa del 100% y una malla metálica para evitar el contacto directo de las semillas y el agua. Las cajas se sellaron (McDonald y Phaneendranath, 1978) y se colocaron dentro de una estufa marca Thelco a  $42 \pm 1$  °C durante 96 h.

Posterior al envejecimiento acelerado las semillas se sometieron a una prueba de germinación como la descrita en la sección anterior.

### **3.2.8 Diseño experimental**

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial con dos factores: 1) el progenitor y sus líneas con siete niveles y, 2) Temperatura de secado con tres niveles: 15 y 35 °C (secado *artificial*) y 31 °C (secado natural en planta). En total fueron 21 tratamientos.

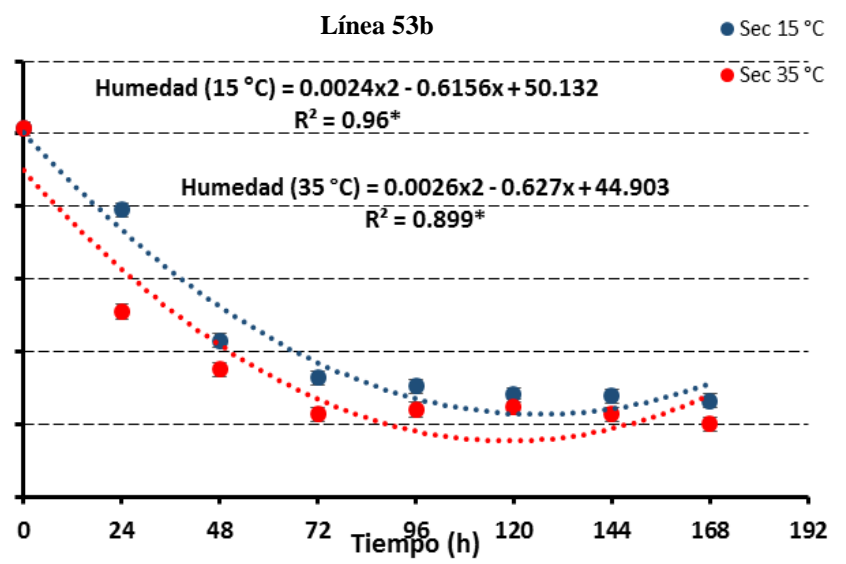
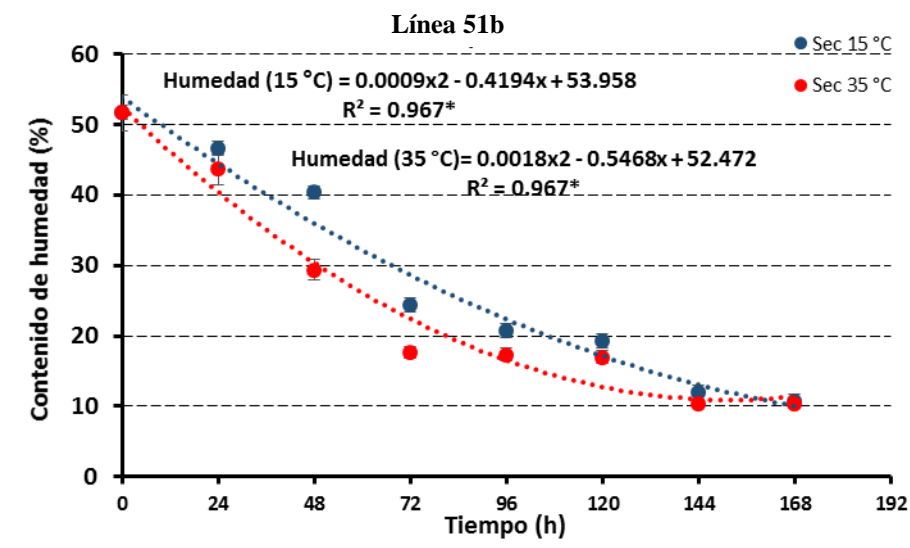
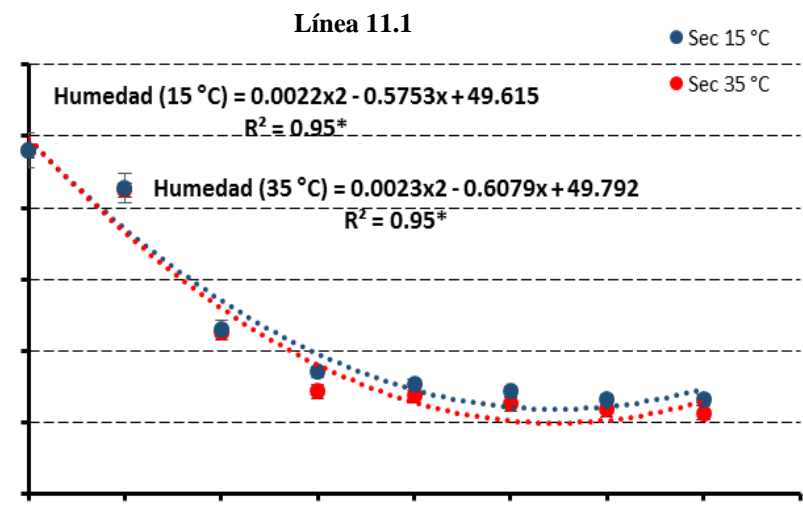
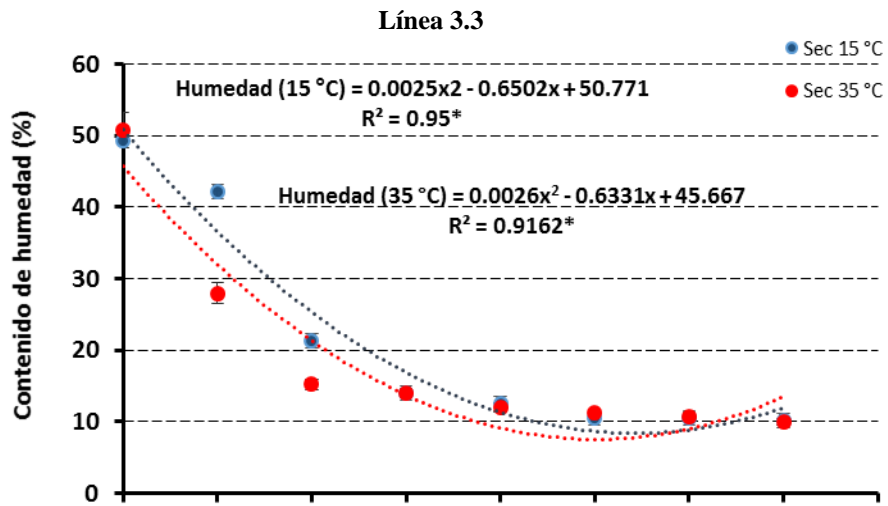
Con los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existe diferencia significativa entre los tratamientos con el paquete estadístico SAS (SAS, 2012).

### 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Obtención del contenido de humedad y curvas de secado

En la Figura 2 se muestra la pérdida de agua de la semilla a través del tiempo de secado para cada progenitor y líneas; la humedad inicial promedio fue de 50% para los progenitores y las líneas. La pérdida de humedad fue diferente para los progenitores y sus líneas. El progenitor S13 alcanzó el  $\pm 10\%$  a las 48 horas, el progenitor NT y la línea 3.3 a las 96 horas, las líneas 11.1, 51b y 53b a las 144 horas, mientras que la línea 118b a las 168 horas (Figura 2).

En las líneas 11.1 y 118b y el progenitor domesticado NT, la velocidad de pérdida de humedad fue similar a 15 y 35 °C y presento su mayor velocidad durante las primeras 72 horas. Lo cual coincide parcialmente con lo consignado por Araya *et al.* (2013), quienes sugirieron utilizar temperaturas de secado de 35 °C en lugar de temperaturas mayores porque se evita el exceso de calor y la pérdida excesiva de agua y se obtiene la humedad deseada (10%) en 72 horas. En las líneas 3.3, 51b y 53b y el progenitor silvestre S13, la velocidad de pérdida de humedad fue mayor a 35 °C, pero a partir de las 96 tendió a ser similar en ambas temperaturas y se hizo asintótica (Figura 2) Estos últimos resultados concuerdan con lo consignado por Ordoñez *et al.* (2012), quienes mencionan que el tiempo de secado es inversamente proporcional a la temperatura de secado. La velocidad alta de pérdida de humedad y el que no haya diferencias en la temperatura de secado en el progenitor NT y la línea 3.3 es una indicación que la permeabilidad de las membranas es mayor con respecto a la línea 51b donde se observa que la temperatura de secado afecto la velocidad de secado y que el tiempo para alcanzar el 10% de humedad se requirió mayor tiempo.



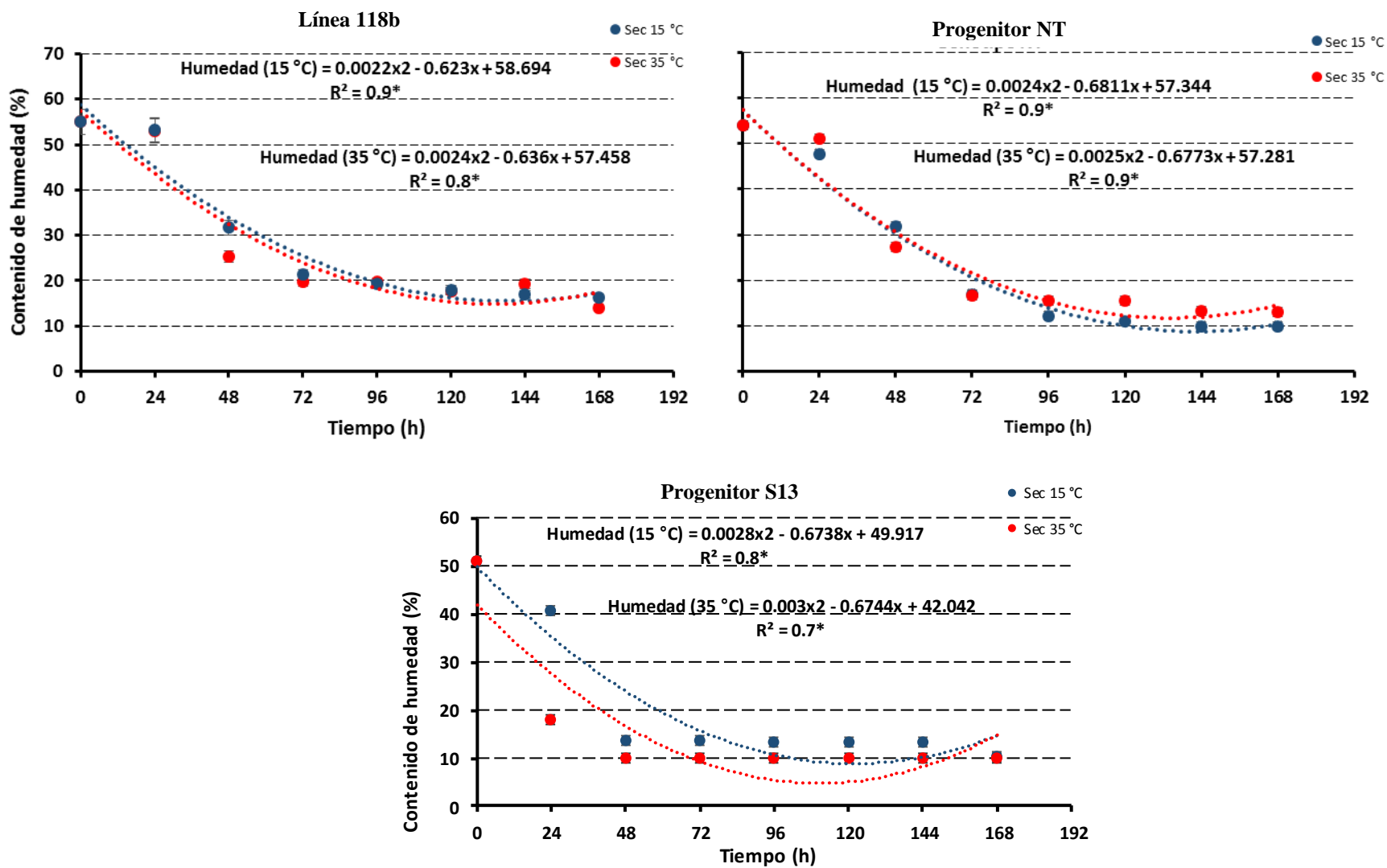


FIGURA 2. Pérdida de humedad en semillas de frijol contra el tiempo, con tres niveles de secado: artificial (15 y 35 °C) y natural (31 °C).

## Prueba de imbibición de la semilla después del secado

La temperatura afecto la imbibición de las semillas independientemente de los progenitores y las líneas. La imbibición fue mayor estadísticamente a las temperaturas de 15 y 35 °C (secado artificial) con respecto 31 °C (secado natural) a las 72 horas (Cuadro 2). Resultados contrarios fueron consignados por Mujica *et al.* (2012), quienes mencionaron que temperaturas de 37 °C durante el secado disminuyen la imbibición en semillas de frijol

**CUADRO 2. Porcentaje de imbibición promedio de semillas de frijol con diferentes temperaturas de secado, durante 72 horas.**

TEMPERATURA (°C)	IMBIBICIÓN (%)
15 (artificial)	85 a
35 (artificial)	86 a
31 (natural)	73 b
CV	34
DMS <sub>0.05</sub>	11

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

Los progenitores y sus líneas afecto la imbibición de la semilla independientemente de la temperatura. El porcentaje mayor estadísticamente significativo de imbibición lo presentó el progenitor silvestre (S13), seguido por el progenitor domesticado (Negro Tacaná) y las líneas 3.3, 53b, los cuales fueron iguales estadísticamente y superiores a las líneas 11.1 y 51b. El porcentaje de imbibición más bajo se observó en la línea 118b (Cuadro 3). Los resultados anteriores están correlacionados con la velocidad de secado, donde el progenitor S13 presentó la velocidad mayor de secado, seguido por el progenitor Negro Tacaná y la línea 3.3; mientras que la línea 118b tuvo la velocidad de secado menor. La resistencia o la conductancia de la membrana están estrechamente relacionada con la permeabilidad de la misma (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006; Moreno *et al.*, 2006). Por otro lado, Nobel (1999) consigna que el grosor y el número de capas de células de la testa son importantes para la impermeabilidad de la testa.



**CUADRO 3. Porcentaje de imbibición de semillas de frijol domesticado (NT), silvestre (S13) y sus líneas a las 72 horas.**

LÍNEA O PROGENITOR	IMBIBICIÓN (%)
NT	93 b
S13	130 a
3.3	91 b
11.1	53 cd
51b	63 c
53b	105 b
118b	34 d
CV	34
DMS <sub>0.05</sub>	21

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

El porcentaje de imbibición en los progenitores NT y S13, y las líneas 3.3 y 118b no fue afectado por la temperatura; mientras que en las líneas 11.1, el 51b, el 53b si fue afectado. Sin embargo, el secado artificial (15 y 35 °C) incrementó la permeabilidad de la membrana en las líneas 11.1 y 51b y lo disminuyó en la línea 53b (Cuadro 4).

**CUADRO 4. Porcentaje de imbibición a las 72 horas de semillas de frijol dentro progenitores (NT y S13) y sus líneas con tres temperaturas de secado.**

LÍNEA O PROGENITOR	IMBIBICIÓN (%)			CV	DMS <sub>0.05</sub>
	SN (31 °C)	15 °C	35 °C		
NT	99 a	90 a	92 a	18	18
S13	149 a	113a	128 a	26	38
3.3	88 a	89 a	96 a	20	20
11.1	11 b	74 a	73 a	40	23
51b	6 b	87 a	95 a	20	14
53b	109 a	103 ab	102 b	5	6
118b	46 a	41a	14 a	159	60

Valores con diferente letra dentro de cada fila son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). SN = secado natural.

En el secado natural se observó diferencia estadística significativa en la imbibición de la semilla entre los progenitores y líneas. Los mayores porcentajes de imbibición se presentaron en el

progenitor silvestre S13 y la línea 53b, valores intermedios en el progenitor NT y la línea 3.3 y los más bajos en las líneas 118b, 51b y 11.1, el cual fue del 6%.

En el secado artificial a 15 °C, se mantuvo la misma tendencia en el progenitor silvestre S13, el progenitor domesticado NT y las líneas 53b, 3.3 y 118b. Sin embargo, el porcentaje de imbibición se incrementó  $\pm 7$  veces en la línea 51.b y 14 veces en la línea 51b. En el secado artificial a 35 °C se observó la misma tendencia en los progenitores y las líneas excepto en la línea 118b donde el porcentaje de imbibición se redujo aproximadamente un tercio (Cuadro 5).

**CUADRO 5. Porcentaje de imbibición a las 72 horas de semillas de frijol por progenitores (NT y S13) y sus líneas en tres temperaturas de secado.**

LÍNEA O PROGENITOR	IMBIBICIÓN (%)		
	SN (31 °C)	15 °C	35 °C
NT	99 b	90 ab	92 bc
S13	149 a	113 a	128 a
3.3	88 bc	86 ab	96 bc
11.1	11 d	74 bc	73 c
51b	6 d	87 ab	95 bc
53b	109 ab	103 ab	102 b
118b	46 cd	41 c	14 d
CV	50	30	20
DMS <sub>0.05</sub>	49	35	24

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). SN = secado natural.

### Dinámica de imbibición

La temperatura de secado afectó la dinámica de la imbibición. En el secado natural, el 50% de imbibición se alcanzó a las 16 horas para los progenitores S13 y NT y las líneas 53b y 3.3; mientras que dicho porcentaje se alcanzó a 48 horas para las líneas 118b, 51b y 11.1. En el secado artificial a 15 °C, el 50% de imbibición se observó antes de las 8 horas en el progenitor S13, mientras que en el resto de las líneas y progenitor NT se presentó a las  $\pm 16$  horas. En el secado artificial a 35 °C, dicho porcentaje se registró antes de las 16 horas en la mayoría de los materiales.

Sin embargo en la línea 118b se observó hasta las 56 horas (Figura 3). Estos resultados difieren de los de Herrera-Flores y Acosta-Gallegos (2002), quienes consigan que en progenitores silvestres y domesticados de frijol observaron hasta un 80% de imbibición a las 16 horas en semillas cosechadas a la madurez fisiológica. Pérez-Herrera *et al.* (2002) mencionan que la dinámica de la imbibición difiere entre variedades de frijol. Lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo.

En general, se observó que para todas las temperaturas de secado, la dinámica de imbibición se hace asintótica después de las 40 horas. Méndez-Natera *et al.* (2008) y Mápula-Larreta *et al.* (2008) consignan curvas de imbibición en 14 horas con resultados similares. La diferencia en tiempo aparentemente se debe a que ellos utilizaron semillas sumergidas en agua para evaluar imbibición.

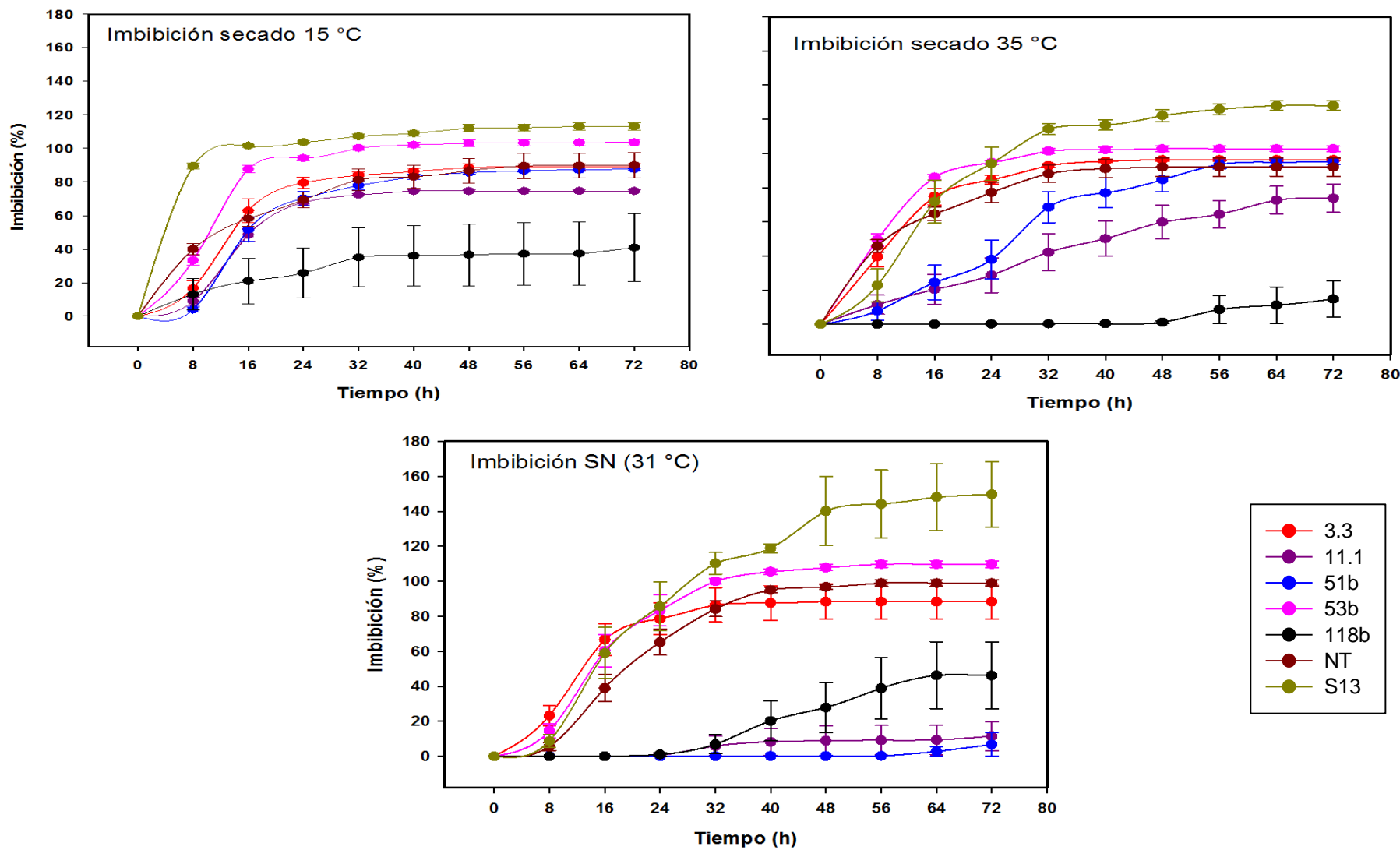


FIGURA 3. Tasa de imbibición (absorción de agua) de semillas de frijol sometidas a diferentes tipos de secado.

## Prueba de Germinación

Previo a la siembra se realizó una prueba de germinación y se observó que los progenitores y líneas diferían estadísticamente en el porcentaje de germinación. Los progenitores NT y S13, las líneas 3.3, 11.1 y 53b presentaron el más alto porcentaje de germinación comparado con la línea 51b y 118b (Cuadro 6). El bajo porcentaje de germinación en estas líneas fue debido a la impermeabilidad de la testa, esto coincide con lo reportado por Figueroa y Jaksic, 2004.

**CUADRO 6. Porcentaje de germinación de semillas de frijol en la prueba previa a la siembra, durante un período de 14 días.**

LÍNEA O PROGENITOR	GERMINACIÓN (%)
NT	100 a
S13	97 a
3.3	82 ab
11.1	77 ab
51b	55 b
53b	100 a
118b	50 b
CV	34
DMS <sub>0.05</sub>	18

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

## Prueba de Germinación después del secado artificial y natural, sin y con envejecimiento acelerado

El porcentaje de germinación fue superior estadísticamente cuando el secado fue a 15 °C, seguido por el del secado a 35 °C. El porcentaje más bajo se observó a la temperatura de secado natural de 31 °C.

El envejecimiento acelerado afectó el porcentaje de germinación. En la temperatura de secado de 15 °C se observó disminución; mientras que en el secado natural se observó aumento. En el secado a 35 °C se observaron valores similares (Cuadro 7).

En la germinación estándar, los porcentajes de germinación más altos de obtuvieron en el secado artificial a 15 °C; mientras que después del envejecimiento acelerado se observaron en el secado artificial a 35 °C. Para la germinación después del secado y envejecimiento acelerado la germinación de semillas de frijol silvestre y domesticado fueron susceptibles a hongos (aparentemente *Aspergillus* spp) en comparación con las líneas. En el secado artificial, en general mostraron mayor porcentaje de germinación de semillas en comparación con el secado natural (Cuadro 7). La tolerancia al secado en semillas de frijol puede estar asociada con una reorientación de los sistemas de defensa antioxidantes enzimáticos (Bailly *et al.*, 2001).

**CUADRO 7. Porcentaje de germinación de semillas de frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas sin y con envejecimiento acelerado con diferentes temperaturas de secado.**

Temperatura (°C)	GE (%)	GCE (%)
15 (artificial)	95 a	61 b
35 (artificial)	89 b	90 a
31 (natural)	69 c	88 a
CV	6	6
DMS <sub>0.05</sub>	3	3

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). GE = germinación estándar después del secado; GCE = germinación estándar después del secado más envejecimiento acelerado.

Los progenitores y líneas mostraron diferente porcentaje de germinación. Los progenitores NT y S13, y las líneas 3.3 y 53b presentaron estadísticamente el porcentaje más altos de germinación comparado con las otras líneas. La línea 118b tuvo el más bajo porcentaje de germinación. El envejecimiento acelerado afectó el porcentaje de germinación. En los progenitores NT y S13, el porcentaje disminuyó, en las líneas 3.3, 11.1, 51b y 53b dicho porcentaje fue similar. Sin embargo, en la línea 118b el porcentaje casi se duplicó (Cuadro 8), lo que indica la pérdida de impermeabilidad para esta línea, al ser sometidas a alta humedad y temperatura (envejecimiento acelerado).

La disminución del porcentaje de germinación en los progenitores NT y S13 después del envejecimiento acelerado se debió a la presencia de una testa mucho más blanda, que se degradó fácilmente por la presencia de hongos y por lo tanto causo la muerte de las mismas. Resultados análogos fueron reportados por González-Torres *et al.* (2008), donde la prueba de envejecimiento acelerado afectó la germinación en variedades domesticadas de frijol. Así mismo la reducción en la germinación en los progenitores (NT y S13) y finalmente la muerte de las semillas, son debidas al deterioro en la calidad fisiológica de las semillas al ser sometidas a alta humedad y temperatura (Ferguson, 1995; Salinas *et al.*, 2001).

**CUADRO 8. Porcentaje de germinación semillas de frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas sin y con envejecimiento acelerado independientemente de las temperaturas de secado.**

LÍNEA O PROGENITOR	GERMINACIÓN (%)	
	GE	GCE
NT	95 a	52 d
S13	97 a	64 c
3.3	95 a	90 a
11.1	82 b	89 ab
51b	73 c	82 b
53b	99 a	93 a
118b	49 d	87 ab
CV	6	6
DMS <sub>0.05</sub>	7	6

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). GE = germinación estándar después del secado; GCE = germinación estándar después del secado más envejecimiento acelerado.

Cuando se comparan los porcentajes de germinación estándar y los de después del envejecimiento acelerado, los lotes se clasifican de la siguiente manera: 1) vigor bajo, son lotes que presentan porcentaje de germinación menor del 60%; 2) vigor medio, son aquellos en los que se observan valores entre el 60 y 80%; 3) vigor alto, son aquellos en los que se registran valores superiores al 80% (Tekrony, 1995). De acuerdo a la clasificación anterior, las líneas 3.3, 11.1, 51b,

53b y 118b resultaron ser las de vigor alto, el progenitor S13 la de vigor medio y el progenitor NT con el vigor bajo (Cuadro 8).

En el cuadro 9, se observa la comparación de germinación después del secado y germinación después del secado y sometidas a envejecimiento acelerado, con los tres niveles de temperatura evaluados: artificial (15 y 35 °C) y natural (31 °C). Existe variabilidad entre los progenitores y líneas. La germinación de las semillas incrementó o disminuyó después de ser sometidas a la prueba de envejecimiento acelerado. González-Torres *et al.* (2008) concluyeron que las variedades con mayor porcentaje de germinación después del envejecimiento, tienen la posibilidad de resistir más a las condiciones adversas y mayor capacidad de almacenamiento, lo que indica que las pruebas de vigor son válidas para diferenciar lotes de semillas con diferente poder germinativo (ISTA, 2001).

**CUADRO 9. Porcentaje de germinación de semillas de frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas con y sin envejecimiento acelerado en las temperaturas de secado.**

LÍNEA O PROGENITOR	SN (31 °C)	GERMINACIÓN (%)				
		GE 15 °C	35 °C	SN (31 °C)	GCE 15 °C	35 °C
NT	100 a	90 ab	95 a	100 a	3 c	53 c
S13	100 a	97 ab	95 a	100 a	5 c	89 b
3.3	98 a	93 ab	95 a	91 a	84 ab	96 ab
11.1	60 b	100 a	87 a	99 a	72 b	96 ab
51b	20 c	100 a	100 a	62 b	86 ab	100 a
53b	100 a	99 a	100 a	98 a	86 ab	97 ab
118b	5 d	88 b	54 b	67 b	95 a	100 a
CV	4	7	7	11	4	5
DMS <sub>0.05</sub>	10	16	11	15	9***	11

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). SN = secado natural; GE = germinación estándar después del secado; GCE = germinación estándar después del secado más envejecimiento acelerado.

Las líneas 118b y 51b, exhiben nuevamente un comportamiento similar con los menores porcentajes en germinación después del secado natural (31 °C) y después del secado y del



envejecimiento acelerado. Éstos presentan una tendencia muy diferente con el secado artificial (35 °C), donde se obtienen porcentajes del 100% de germinación para cada uno, durante los 14 días que duró la prueba (Cuadro 9). Lo anterior indicaría que las semillas envejecidas artificialmente al ser sometidas al envejecimiento induce alteraciones que se manifiestan en forma diferente (Murcia *et al.*, 2001).

Porcentajes altos de germinación son de suma importancia para la obtención de un máximo rendimiento, ya que los productores requieren de un rápido y óptimo establecimiento, bajo condiciones adversas (González-Torres *et al.*, 2008), como lo expresan los progenitores y líneas estudiados que fueron dejados en la planta para su secado de manera natural (en invernadero), que bajo estas condiciones no sufren deterioro de la calidad fisiológica después del envejecimiento.

**CUADRO 10. Porcentaje de germinación estándar sin y con envejecimiento acelerado de semillas de frijol dentro de progenitores (NT y S13) y sus líneas con temperaturas de secado, durante un período de 14 días.**

LÍNEA O PROGENITOR	SN (31 °C)	GERMINACIÓN (%)									
		GE					GCE				
		15 °C	35 °C	CV	DMS <sub>0.05</sub>	SN (31 °C)	15 °C	35 °C	CV	DMS <sub>0.05</sub>	
NT	100 a	90 a	95 a	5	11	100 a	3 c	53 b	12	12	
S13	100 a	97 a	95 a	5	9	100 a	5 c	89 b	5	7	
3.3	98 a	93 a	95 a	4	7	91 ab	84 b	96 a	5	10	
11.1	60 b	100 a	87 a	9	15	99 a	72 b	96 a	6	11	
51b	20 b	100 a	100 a	4	6	62 c	86 b	100 a	7	11	
53b	100 a	99 a	100 a	1	2	98 a	86 a	97 a	7	13	
118b	5 c	88 a	54 b	18	17	67 b	95 a	100 a	3	6	

Valores con diferente letra dentro de cada fila son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). SN = secado natural; GE = germinación estándar después del secado; GCE = germinación estándar después del secado más envejecimiento acelerado.

En el cuadro 10, se observan las modificaciones que experimentan los progenitores y líneas debido a la velocidad de secado. Estas modificaciones son altamente significativas para las líneas 11.1, 51b y 118b para la germinación estándar sin envejecimiento acelerado (GE). Para la línea

11.1 el porcentaje de germinación aumentó en el secado artificial (15 °C) con respecto al secado natural 40% y 27% (15 y 35 °C); en la línea 51b incremento 80% en ambas temperaturas; mientras que la línea 118b fue de 83% y 49%, para el secado a 15 y 35 °C, respectivamente.

En lo que respecta a la germinación estándar con envejecimiento acelerado (GCE), también hubo diferencias altamente significativas para los progenitores y líneas, pero difiriendo en su comportamiento. Para el progenitor NT, hubo una disminución considerable en la germinación para el secado a 15 y 35 °C, respecto al secado natural (31 °C). Con lo cual se infiere que el envejecimiento acelerado modificó la calidad fisiológica de las semillas debido a la alta humedad y temperatura. De manera contraria para las líneas 51b y 118b; donde, el porcentaje de germinación se incrementó para el secado artificial (15 y 35 °C) (Cuadro 10), lo que se le atribuye un rompimiento de la latencia debida a la impermeabilidad de la testa, al ser sometidas a pruebas de vigor y elevando el porcentaje de germinación. Estos resultados son análogos a estudios realizados por Pérez-Camacho *et al.* (2008) donde el secado eleva el porcentaje germinación en semillas de *Physalis ixocarpa* Brot se ve incrementado a un 90%.

### **3.4 CONCLUSIONES**

La temperatura de secado no modificó la impermeabilidad de la testa del progenitor domesticado (NT), el silvestre (S13) y las líneas 3.3 y 53b. Sin embargo, si modificó la de las líneas 118b, 11.1 y 51b, la cual se hizo impermeable; y por lo tanto el porcentaje de germinación disminuyó después del secado.

De acuerdo al porcentaje de germinación y a la prueba de envejecimiento acelerado, las líneas 118b, 11.1 y 51b son más vigorosas que el silvestre (S13) y el domesticado (NT), y la velocidad de secado no modificó el vigor de las semillas.

### 3.5 LITERATURA CITADA

- Araya, V. R., U. K. Martínez, Z. A. López, y W. A. Murillo. 2013. Protocolo para el manejo poscosecha de la semilla de frijol. Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 36 p.
- Bailly, C., C. Audigier, F. Ladonne, M. H. Wagner, F. Coste, F. Corbineau, and D. Côme. 2001. Changes in oligosaccharide content and antioxidant enzyme activities in developing bean seeds as related to acquisition of drying tolerance and seed quality. *J. Exp. Bot.* 52: 701–708.
- Besnier, R. F. 1989. Semillas: biología y tecnología. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 489 p.
- Bewley, J. D., K. Bradford, H. Hilhorst, and H. Nonogaki. 2013. *Physiology of Development, Germination and Dormancy*, 3<sup>rd</sup>. Edition. New York: Springer-Verlag. 329 p.
- Celis-Velázquez, R., C. B. Peña-Valdivia, M. Luna-Cavazos, y R. Aguirre, J. R. 2010. Caracterización morfológica de las semillas y consumo de reservas durante la emergencia de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 27: 61-87.
- Delgado, S. A., A. Bonet, and P. Gepts. 1988. The wild relative of *Phaseolus vulgaris* L. in middle America. *In: Genetic resources of Phaseolus beans*. P. Gepts (ed.). Kluwer, Dordrecht, Netherlands. pp: 163-184.
- Delouche, J. C. 1996. Accelerated aging test. AOSA meeting. College of Agriculture, University of Kentucky, Lexington, KY. pp: 1-7.
- Delouche, J. C. 2002. Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Seed News*. 6: 2. (En línea) Consultado el 20 Mar de 2015. Disponible en: [http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66a\\_esp.shtml](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66a_esp.shtml).
- Ellis, R. H., T. D. Hond, and E. H. Roberts. 1985. *Handbook of seed technology for genebanks*. Vol. 1. Principles and methodology. Department of Horticulture, University of Reading, Uk. pp: 24-33.
- Figueroa, J. A., y F. M. Jaksic. 2004. Latencia y banco de semillas en plantas de la región mediterránea de Chile central. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 77: 201-215.
- Finch-Savage, W. E., and G. Leubner-Metzger. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytol.* 171: 501-523.
- Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigour testing. *In: Seed Vigour Testing Seminar*, Copenhagen. [Proceedings...] Zurich: International Seed Testing Association, pp: 1-9.

- García, A., y R. Bressani. 1985. Efecto de la radiación solar sobre algunas características físicoquímicas del grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) observaciones preliminares. Turrialba. 35: 155.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Gepts, P. 1998. Origin and evolution of common bean: past events and recent trends. Hortic. Sci. 33: 1124-1130.
- González-Torres, G., F. M. Mendoza-Hernández, J. Covarrubias-Prieto, N. Morán-Vázquez, y J. A. Acosta-Gallegos. 2008. Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajo. Agric. Técn. Méx. 34: 421-430.
- Herrera-Flores, T. S., y J. A. Acosta-Gallegos. 2002. Permeabilidad de la testa y al porción micropilo-hilio en semilla de frijol silvestre y cultivado. Rev. Fitotec. Méx. 25: 57-63.
- ISTA. 2001. International Seed Testing Association. Proposed ISTA rules changes. In: ISTA CONGRESS, 26, Angers, 14/22 junio 2001. Zürich. 47 p.
- ISTA. 2004. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Bassersdorf, CH-Switzerland. 56 p.
- Jones, A. L. 1999. PHASEOLUS BEAN: Post-harvest Operations. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). AGSI/FAO. 25 p.
- López-Salinas, E., J. A. Acosta-Gallegos, E. N. Becerra-Leor, G. Frayre-Vazquez, S. H. Orozco, and S. E. Beebe. 1997. Registration of 'Negro Tacana' common bean. Crop Sci. 37: 1022-1022.
- López-Soto, J. L., J. A. Ruiz-Corral, J. J. Sánchez-González, y R. Lépiz-Ildefonso. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la República Mexicana. Rev. Fitotec. Mex. 32: 221-230.
- McDonald, J. R., and B. R. Phaneendranath. 1978. A Modified Accelerated Aging Vigor Test Procedure. J. Seed Techn. Lansing, 3: 27-37.
- Mápula-Larreta, M., J. López-Uptón, J. J. Vargas-Hernández, y A. Hernández-Livera. 2008. Germinación y vigor de semillas en *Pseudotsuga menziesii* de México. Ra Ximhai. 4: 119-134.
- Méndez-Natera, J. R. J. F. Merazo-Pinto, y N. J. Montaña-Mata. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de imbibición en semillas de maíz (*Zea mays* L.) caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). Rev. UDO Agric. 8: 61-66.

- Moreno, F., G. A. Plaza, y S. V. Magnitskiy. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muel.). *Agron. Colom.* 24: 290-295.
- Mujica, M. V., M. Granito, y N. Soto. 2012. Variación de los compuestos fenólicos de *Phaseolus vulgaris* L. durante el almacenamiento y su relación con el endurecimiento. *Bioagro.* 24: 163-174.
- Murcia, M., A. Peretti, S. San Martín, y V. Pereyra. 2001. Vigor de semillas y emergencia a campo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en siembras anticipadas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Rev. Bras. Sem.* 23: 263.
- Nobel, P. S. 1999. *Plant Physiology*. 2nd Edition. Academic Press. USA. pp: 372-373.
- Ordoñez, M. R., M. C. Gely, y A. M. Pagano. 2012. Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances en ciencias e ingeniería:* 3: 153-157.
- Pérez-Herrera, P., G. Esquivel-Esquivel, R. Rosales-Serna, y J. A. Acosta-Gallegos. 2002. Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Arch Latinoamer. Nutr.* 52: 172-180.
- Pérez-Camacho, I., V. A. González-Hernández, J. C. Molina-Moreno, O. J. Ayala-Garay, y A. Peña-Lomelí. 2008. Efecto de desarrollo y secado de semillas de *Physalis ixocarpa* Brot en germinación, vigor y contenido de azúcares. *Rev. Interciencia.* 33: 762-766.
- Rosales-Serna, R., J. A. Acosta-Gallegos, J. M. Muruaga-Martínez, G. Esquivel-Esquivel, y P. Pérez-Herrera. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (Libro técnico No. 6). SAGARPA, INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Valle de México. 160 p.
- Tekrony, D. M. 1995. Accelerated ageing. *In: Congress of the International Seed Testing Association, 24. Copenhagen. Seed vigour testing: contributions to a seminar. Zurich: International Seed Testing Association, 1995. pp: 816-822.*
- Turner, N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant soil.* 58: 339-366.
- Salinas, A. R., A. M. Yoldjian, R. M. Craviotto, y V. Bisaro. 2001. Prueba de vigor y calidad fisiológica en semillas de soja. *Pesq. Agropec. Bras. Brasilia.* 36: 371-379.
- SAS (SAS Inc.). 2012. SAS versión 9.3 for Windows. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.

- Sonnante, G., T. Stockton, R. O. Nodari, V. L. Becerra Velázquez, and P. Gepts 1994. Evolution of genetic diversity during the domestication of common-bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theor. Appl. Genet.* 89: 629-635.
- Smýkal, P., V. Vernoud, M. W. Blair, A. Soukup, and R. D. Thompson. 2014. The role of the testa during development and in establishment of dormancy of the legume seed. *Front. Plant Sci.* 5: 351.
- Steiner, A. A. 1984. The principal differences between culture with and without soil. *Proceeding of the Congress the Palmas. IWOSC.* pp: 81-85.

**CAPÍTULO IV. RENDIMIENTO DE SEMILLA, PRODUCCIÓN DE  
BIOMASA Y FENOLOGÍA DE FRIJOL SILVESTRE, DOMESTICADO Y  
SUS LÍNEAS**



# RENDIMIENTO DE SEMILLA, PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y FENOLOGÍA DE FRIJOL SILVESTRE, DOMESTICADO Y SUS LÍNEAS

Alfonso **García-Urióstegui**<sup>1</sup>, Ebandro **Uscanga-Mortera**<sup>1\*</sup>, Antonio **García-Esteva**<sup>1</sup>, José  
Rodolfo **García-Nava**<sup>1</sup>, Josué **Kohashi-Shibata**<sup>1</sup>, Gabino **García-De los Santos**<sup>2</sup>

## RESUMEN

México es uno de los reservorios genéticos y fuente de diversidad de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) más importante del mundo. Es un grano que cumple diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico. El objetivo del presente estudio fue determinar el rendimiento de semilla y sus componentes, la producción de biomasa y fenología en frijol silvestre, domesticado y sus líneas en condiciones de invernadero e hidroponía. La siembra se realizó en mayo de 2014 en el Colegio de Postgraduados. Se evaluó un frijol silvestre (S13), un domesticado (Negro Tacaná) y cinco líneas (53b, 51b, 118b, 111, 3. 3) producto de la cruce del S13 y el NT. Cada progenitor y líneas se consideró un tratamiento y se distribuyeron en un diseño completamente al azar. En las variables estudiadas hubo diferencias entre los progenitores y líneas. Las líneas 118b y 3.3 produjeron mayor rendimiento, el progenitor silvestre, domesticado y las líneas 11.1 y 51b produjeron rendimientos intermedios, y la línea 53b los más bajos. El progenitor S13 presentó el número de vainas y semillas por planta mayores; sin embargo, el número de semillas por vainas y peso de cien semillas fue el más bajo, mientras que, en el progenitor Negro Tacaná la tendencia anterior fue inversa. El progenitor S13, la línea 118b y la 3.3 presentaron la cantidad de biomasa mayor, la línea 53b presentó la biomasa menor. La línea 118b, la 3.3 y el progenitor S13 fueron los más tardíos; mientras que la línea 53b, el progenitor NT y la línea 11.1 fueron los más precoces.

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris* L., rendimiento de semilla, biomasa, grados día desarrollo, índice de cosecha modificado.

## INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es importante como alimento en varias culturas del mundo, debido a que es fundamental en la dieta humana y fuente importante de proteínas y una cantidad relativamente alta de vitaminas B, tiamina y riboflavina y minerales (hierro, calcio, magnesio, etc.) (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2000).

En México, se cultiva en casi todas las regiones, condiciones de suelo y clima. Los principales estados productores son Zacatecas y Durango, en estos, el rendimiento promedio es de 1.5 y 1.4 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente; en contraste, en San Luis Potosí el rendimiento es de 0.4 ton ha<sup>-1</sup> (CEFP, 2013).

Los rendimientos unitarios bajos son debido a que la mayor parte se cultiva en áreas con temporal errático y frecuentes periodos de sequía; suelos con baja capacidad de retención de humedad, pobres en materia orgánica y nutrimentos (Herrera-Flores y Acosta-Gallegos, 2008). El sistema hidropónico en invernadero puede ser una alternativa cuando se requiere multiplicar semilla de poblaciones silvestres y se cuenta con poca semilla debido a que en este sistema se controlan los factores propiciando un rendimiento alto de semilla.

En la actualidad se desconocen características sobresalientes, tales como: componentes del rendimiento, índice de cosecha, fenología, etc. de poblaciones silvestres, debido a que los mejoradores prefieren utilizar germoplasma de líneas de la misma clase comercial, para obtener grano con atributos similares, propicia la mecanización y el obtener mejores rendimientos (Herrera-Flores y Acosta-Gallegos, 2008). Son escasos los estudios acerca de dichas características, por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento de semilla y sus componentes, la producción de biomasa y fenología en frijol silvestre, domesticado y sus líneas en condiciones de invernadero e hidroponía

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del experimento**

El presente trabajo se desarrolló en condiciones de invernadero y bajo un sistema hidropónico en el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2014, en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, que se localiza entre los 19° 29´ Latitud Norte y a 98° 53´ Longitud Oeste, a una altura de 2250 m sobre el nivel del mar.

### **Material vegetal**

El frijol silvestre (S13) de crecimiento indeterminado trepador, semillas pequeñas y vainas dehiscentes (Delgado *et al.*, 1988) y el domesticado Negro Tacaná (NT) de crecimiento indeterminado arbustivo tipo II (Rosales *et al.*, 2004), fueron utilizados para la producción de las líneas (11.1, 3.3, 53b, 51b y 118b). El frijol silvestre (S13) fue inscrito en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) con el número G23429, y originalmente recolectado en Santa Isabel, municipio de Cholula, Edo. de Puebla, México. El frijol cultivado (NT) fue inscrito en el Journal of Crop Sciences (López-Salinas *et al.*, 1997).

### **Siembra y manejo de los progenitores y líneas**

La siembra de los progenitores y líneas se realizó en invernadero el 13 de mayo de 2014 en vasos de poliestireno con 250 mL de tezontle como sustrato. Se regó con agua destilada durante los primeros cinco días. A partir del sexto día después de la siembra (dds) se regó con solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) con un potencial osmótico de -0.036 MPa. Cuando las plantas presentaron las hojas simples desplegadas (10 o 12 dds dependiendo de los progenitores y líneas), se trasladaron a macetas de plástico de 28.5 cm de diámetro superior, 26 de diámetro inferior y 35 de altura a cada una de las cuales se les agregó 19 kg de tezontle, con partículas menores a 1 cm. A partir del trasplante se regó diariamente con solución nutritiva con un potencial osmótico de

-0.072 MPa, y una vez cada siete días, con agua acidulada con un pH de 5.5. Se utilizó un sistema hidropónico abierto.

Para la preparación de la solución nutritiva se utilizó agua de la llave cuyo pH, conductividad eléctrica (CE) y contenido de iones se presenta en el Cuadro 1. El contenido de iones se tomó en cuenta para hacer los ajustes de las cantidades de los fertilizantes utilizados. Se ajustó el pH a 5.5 con ácido sulfúrico comercial 1N y se adicionaron fertilizantes comerciales. Para los macronutrientes se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984), cuya concentración en mol<sub>c</sub>m<sup>-3</sup> de iones es: 7 de K<sup>+</sup>, 9 de Ca<sup>2+</sup>, 4 de Mg<sup>2+</sup>, 12 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 1 de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y 7 de SO<sub>4</sub><sup>-</sup>; con un potencial osmótico de -0.072 Mpa. Se emplearon fertilizantes comerciales excepto para el fosfato de potasio para el cual se utilizó sal grado reactivo. Los micronutrientes se adicionaron mediante el uso del producto Fermil<sup>®</sup> Soluble.

**Cuadro 1. pH, CE y contenido de cationes y aniones presentes en el agua utilizada para preparar la solución nutritiva.**

pH	CE <sup>¶</sup> dS m <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	∑(+)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	∑(+)
		-----Aniones (meq L <sup>-1</sup> )-----					-----Cationes (meq L <sup>-1</sup> )-----				
7.23	0.515	0	3.70	0.60	0.56	4.86	1.30	2.10	0.80	0.06	4.26

<sup>¶</sup>CE=conductividad eléctrica. Análisis químico realizado en el laboratorio del Posgrado en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados.

### Tratamientos y diseño experimental

Cada progenitor y línea se consideró un tratamiento. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con ocho repeticiones. La unidad experimental consistió de una planta por maceta.

## **Temperatura y humedad relativa**

### **Temperatura y humedad relativa**

Durante el desarrollo del cultivo se registró diariamente la temperatura máxima ( $T_{\text{máx.}}$ , °C), la mínima ( $T_{\text{mín.}}$ , °C) y la humedad relativa, mediante un “Data logger” y se calculó el promedio decenal de ambas variables.

## **Fenología y grados día desarrollo**

### **Fenología**

Desde la siembra se registró la ocurrencia y duración de las etapas fenológicas en cada uno de los progenitores y líneas de acuerdo con el criterio presentado por Escalante y Kohashi (2015).

### **Grados día desarrollo**

Para conocer los requerimientos de calor de los progenitores y líneas, se calcularon los grados día desarrollo (GDD) con el método residual (Snyder, 1985), se usó como temperatura base ( $T_b$ ) 10 °C. Para obtener los grados día desarrollo acumulado para cada progenitor y línea a lo largo del ciclo, se procedió a obtener la suma térmica diaria.

## **Variables del cultivo**

### **Rendimiento y sus componentes y biomasa**

A la cosecha se evaluó el rendimiento de semilla (RS, peso de la semilla al 10 % de humedad, g  $m^{-2}$ ) y sus componentes como: número de vainas normales (VN) y número de semillas normales (SN) por planta, número de semillas normales por vaina (SNV), y peso de cien semillas (PCS).

Por otra parte, la biomasa seca total (g  $planta^{-1}$ ) se logró secando el material vegetal hasta peso constante en una estufa a 70 °C por 72 horas. El índice de cosecha modificado (%) se determinó en plantas a la madurez fisiológica, utilizando el criterio de Kohashi-Shibata *et al.* (1980), donde se

considera la materia seca de los órganos caídos durante el ciclo del cultivo. Además, para el peso seco total se tomó en cuenta el peso del sistema radical.

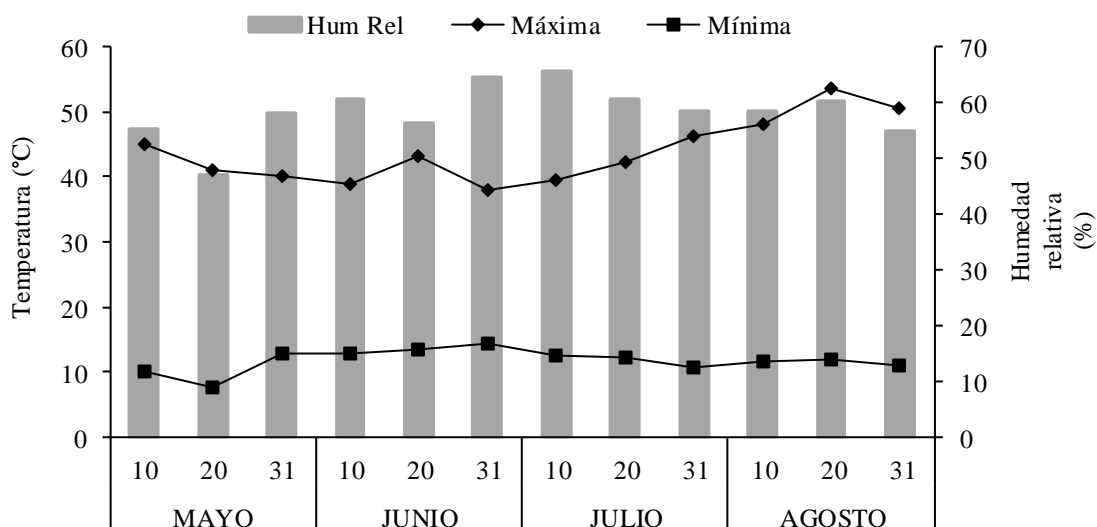
### **Análisis estadístico**

Los datos de cada variable se sometieron a análisis de varianza con el paquete estadístico SAS (2012). Cuando se observó diferencia estadística entre variables se realizó la prueba de comparación múltiple de medias mediante la diferencia mínima significativa, Tukey (DMS,  $p \leq 0.05$ ).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Temperatura y humedad relativa**

Durante el desarrollo de las plantas en el invernadero (mayo-agosto), la humedad relativa más alta se registró en la primera decena de julio. Sin embargo, ésta no fue lo suficientemente alta para favorecer el desarrollo de enfermedades (Huertas, 2008). La temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) aumentó significativamente desde la primera decena de julio hasta la segunda decena de agosto, cuando se registró la temperatura más alta. La menor temperatura máxima ocurrió en los últimos días de junio (Figura 1) la temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) promedio durante el ciclo del cultivo fue de 43.9 °C y la temperatura mínima ( $T_{\text{mín}}$ ), promedio de 11.7 °C (Figura 1), éstas temperaturas mínimas no provocaron daño en las láminas foliares.



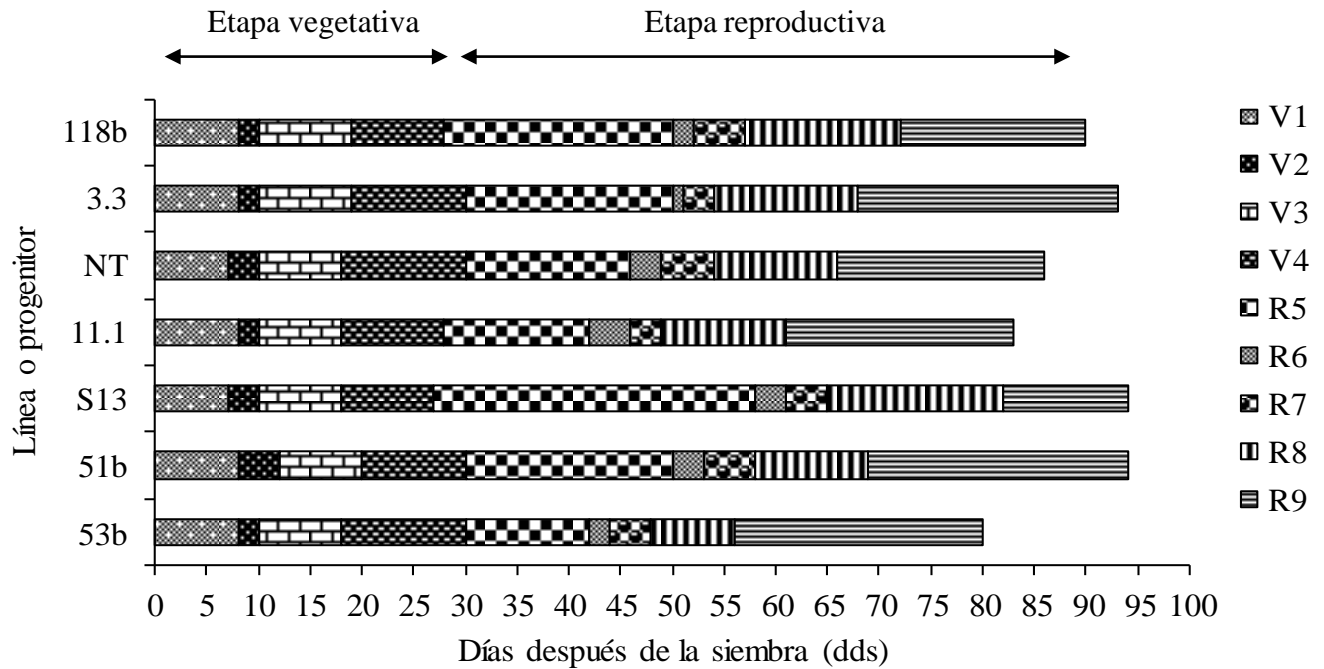
**Figura 1. Temperatura mínima, máxima y humedad relativa decenal promedio registrada durante el período mayo-agosto de 2014.**

### Fenología y grados día desarrollo

Los días requeridos desde la siembra para la ocurrencia de los estadios fenológicos, (S), emergencia (V1), hojas primarias (V2), primera hoja compuesta (V3), tercera hoja (V4), prefloración (R5), floración (R6), formación de vainas (R7), llenado de vainas (R8) y maduración (R9) se presentan en la Figura 2. La fase vegetativa comprende desde el inicio de la germinación hasta el momento de la diferenciación de los primordios foliares y la fase reproductiva desde la aparición de flores hasta el día en que la semilla completa su desarrollo (Escalante y Kohashi, 2015).

La duración del ciclo biológico fue diferente entre los progenitores y líneas. Por lo tanto, la etapa vegetativa y la reproductiva fueron diferentes (Figura 2). Tendencias similares en cultivo de frijol ejotero con distinto habito de crecimiento fueron reportadas por Salinas-Ramírez *et al.* (2012). En general, la emergencia de la plántula ocurrió entre los 7 y 8 dds; el progenitor silvestre S13 y domesticado NT presentaron una emergencia más rápida, debido a que su velocidad de

imbibición es mayor con respecto al resto de las líneas (García-Urióstegui *et al.*, 2015). Una velocidad de imbibición mayor provoca cambios rápidos en la actividad enzimática y metabólica, y consecuentemente la ruptura de cubiertas seminales (Chong *et al.*, 2002; Doria, 2010).



**Figura 2. Duración de las etapas fenológicas del frijol silvestre (S13), domesticado (Negro Tacaná) y las líneas cultivadas en hidroponía e invernadero. V1=emergencia; V2=hojas primarias; V3=primera hoja compuesta; V4=tercera hoja; R5=prefloración; R6=floración; R7=formación de vainas; R8=llenado de vainas; R9=maduración.**

La floración (R6, una flor en al menos 50% de las plantas) ocurrió primero en las líneas 53b y 11.1. Dicha etapa en el progenitor S13 ocurrió a los 61 dds. El progenitor S13 y las líneas 118b, 51b y 3.3 fueron los más tardíos. La madurez fisiológica (R9), ocurrió en promedio a los 93 dds. El progenitor NT y las línea 53b y 11.1 fueron más precoces alcanzando la madurez en promedio a los 82 dds. Cabe señalar que el progenitor S13, aunque fue el más tardío a R8, no lo fue para la fase R9, mostrando una madurez más rápida en comparación con las demás líneas y el progenitor



NT, además produjo de manera concomitante flores y vainas maduras. Herrera-Flores y Acosta-Gallegos (2008) consignan un comportamiento similar en poblaciones silvestres de frijol, comportamiento que podría ser una adaptación evolutiva que les permite a estas plantas comportarse como bianuales o perennes.

El progenitor silvestre S13 y la línea 51b requirieron de 1845 GDD; mientras que la línea 53b de 1556 GDD para alcanzar la madurez fisiológica (Cuadro 2). Estos resultados difieren al consignado por Bracho *et al.* (2010), quienes indicaron que para un crecimiento óptimo se necesitan 887.9 GDD. Las diferencias entre estos resultados pudo deberse a que Bracho *et al.* (2010) realizaron su estudio en condiciones de campo. El conocimiento de los requerimientos de grados día desarrollo para alcanzar las diferentes etapas fenológicas permite, con el conocimiento previo de la temperatura, programar apropiadamente las labores agrícolas (Pichardo-Riego *et al.*, 2013 y Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009).

**Cuadro 2. Grados día desarrollo (°Cd) acumulados en las etapas fenológicas en el frijol silvestre (S13), el domesticado (Negro Tacaná) y las líneas cultivadas en hidroponía e invernadero. Números entre paréntesis son los días después de la siembra (dds).**

LÍNEA O PROGENITOR	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
118b	334 (8)	364 (10)	511 (19)	657 (28)	1046 (50)	1074 (52)	1145 (57)	1401 (72)	1755 (90)
3.3	334 (8)	350 (9)	511 (19)	696 (30)	1046 (50)	1063 (51)	1098 (54)	1333 (68)	1824 (93)
NT	318 (7)	364 (10)	498 (18)	696 (30)	976 (46)	1020 (49)	1098 (54)	1299 (66)	1668 (86)
11.1	334 (8)	364 (10)	498 (18)	657 (28)	916 (42)	976 (46)	1020 (49)	1216 (61)	1619 (83)
S13	318 (7)	364 (10)	498 (18)	638 (27)	1162 (58)	1216 (61)	1281 (65)	1596 (82)	1845 (94)
51b	334 (8)	395 (12)	529 (20)	696 (30)	1046 (50)	1085 (53)	1162 (58)	1352 (69)	1845 (94)
53b	334 (8)	350 (10)	498 (18)	696 (30)	916 (42)	945 (44)	1001 (48)	1128 (56)	1556 (80)

V1=emergencia; V2=hojas primarias; V3=primera hoja compuesta; V4=tercera hoja; R5=prefloración; R6=floración; R7=formación de vainas; R8=llenado de vainas; R9=maduración.

## Rendimiento y sus componentes

El rendimiento de semilla (RS), número de semillas normales (SN) y número de vainas normales (VN) por planta, número de semillas normales por vaina (SNV) y peso de cien semillas (PCS) mostró diferencias altamente significativas: el progenitor S13 presentó la producción mayor de VN y SN; características que están relacionadas con las plantas silvestres (Cuadro 3) (Zimdahl, 2007; Ross and Lembi, 2009). Asimismo, el crecimiento indeterminado del progenitor S13 le permite tener un período reproductivo largo y al mismo tiempo continuar con el crecimiento vegetativo, son características favorables para la sobrevivencia de las poblaciones silvestres en la naturaleza (Herrera-Flores y Acosta-Gallegos, 2008). Las plantas del hábito de crecimiento indeterminado presentan un mayor número de nudos y por lo tanto, un número potencial mayor de sitios para producir flores, lo que incrementa el número de vainas y de semillas (Kelly, 2001). Sin embargo, el progenitor S13 presentó el PCS y el SNV más pequeños y por lo tanto, el RS más bajo en comparación con el progenitor NT y las líneas.

El frijol cultivado NT tuvo el menor VN y SN planta<sup>-1</sup>, el cual, además de ser domesticado presenta hábito de crecimiento indeterminado tipo arbustivo II, atributo que le confiere un periodo de floración corto, aunado a la selección que fue sometido donde se buscó reducir el SN, pero se incrementó el tamaño de las mismas y consecuentemente su rendimiento fue intermedio (Cuadro 3). Estos resultados difieren de los de García-Nava *et al.* (2014), quienes consignaron un rendimiento menor en este progenitor (63.4 g planta<sup>-1</sup>). La diferencia de estos resultados se podría deber a la cantidad de plantas (2 plantas maceta<sup>-1</sup>) y el tamaño de maceta (3 kg).

En general, las líneas mostraron mayor porcentaje de abscisión de flores, en comparación del frijol silvestre y cultivado, lo que conllevó a un menor VN (Cuadro 3). El mayor porcentaje de abscisión de flores está relacionado con la endogamia de estas líneas. Sin embargo, presentaron

valores intermedios con respecto a los progenitores S13 y NT en el VN y SN planta<sup>1</sup>. Aunque, el PCS fue superior al del progenitor S13, aunado al hábito de crecimiento indeterminado (Kelly, 2001) hizo que sus rendimientos fueran superiores al progenitor S13. En particular, la línea 118b presentó los valores más altos en los componentes del rendimiento (Morales-Rosales, 2008; Escalante y Kohashi, 2015) y por lo tanto, el RS más alto; mientras que la línea 53b presentó valores bajos en los componentes del rendimiento y por lo tanto el RS más bajo. Éste puede deberse a un potencial productivo bajo dado por menor producción de flores, vainas y semillas por planta característica dominante del progenitor silvestre (Herrera-Flores y Acosta-Gallegos, 2008). El rendimiento depende del genotipo, las condiciones ambientales del crecimiento y su interacción (Kohashi-Shibata, 2015<sup>[1]</sup>), en este caso el ambiente fue similar para los progenitores y las líneas y la nutrición (hidroponía) fue la óptima para el crecimiento, se podría asegurar que las diferencias en el rendimiento se deben principalmente a diferencias genotípicas.

<sup>[1]</sup>Comunicación personal

**Cuadro 3. Rendimiento de semilla y sus componentes, biomasa e índice de cosecha, en frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y sus líneas, sembrados en hidroponía e invernadero.**

LÍNEA O PROGENITOR	RS (g planta <sup>-1</sup> )	VN planta <sup>-1</sup>	SN planta <sup>-1</sup>	SNV Vaina <sup>-1</sup>	PCS (g)	†Biomasa (g planta <sup>-1</sup> )	ICm (%)
118b	226.5 a	296 b	1641 b	5.8 abc	13.8 c	489.5 ab	46.2 a
3.3	224.5 a	229 bc	1526 cb	6.6 a	14.7 b	514.4 a	45.4 a
NT	156.4 b	103 d	553 e	5.8 abc	28.3 a	320.7 c	48.9 a
11.1	154.2 b	201 c	1108 cd	5.5 bc	13.9 c	333.4 bc	47.3 a
S13	153.6 b	817 a	3513 a	4.4 d	4.4 e	493.3 ab	31.2 a
51b	138.1 bc	192 c	974 de	4.9 cd	14.2 bc	311.0 c	45.6 a
53b	98.6 c	171 cd	1088 cd	6.5 ab	9.1 d	288.4 c	39.6 a
CV	18	19	20	19	1	18	24
DSM <sub>0.05</sub>	47	87	466	1	1	168	24

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). RS = rendimiento de semilla; PCS = peso de cien semillas; VN = vainas normales; SN = semillas normales; SNV = semillas normales por vaina; † = biomasa del vástago (incluye toda la parte aérea y órganos caídos); ICm = índice de cosecha modificado.

### **Biomasa e índice de cosecha modificado**

El índice de cosecha modificado (ICm) representa la proporción de materia seca correspondiente al órgano de interés económico (grano), en relación al total de las estructuras de la planta (biomasa), y es considerado como un indicador de la eficiencia de una variedad desde el punto de vista del rendimiento (Escalante y Kohashi, 2015). El ICm no mostró diferencias significativas entre los progenitores y las líneas (Cuadro 3). La biomasa más alta correspondió a la línea 3.3, el progenitor S13 y la línea 118b, con 499 g planta<sup>-1</sup> en promedio, debido a que presentó mayor producción de peso seco en láminas foliares y ramas, como lo describen García-Esteva *et al.* (2003). La biomasa más baja se encontró en las líneas 53b y 51b y el progenitor NT en promedio 306.7 g planta<sup>-1</sup>, esto puede estar asociado a que mostraron ciclo de crecimiento más corto (Pichardo-Riego *et al.*, 2013).

Considerando el RS, biomasa e ICm, los progenitores y líneas pueden agruparse en tres, el primero lo conforma las líneas 118b y 3.3 con 225.5, 502 g planta<sup>-1</sup> y 45.9%; el segundo los progenitores NT, y S13 y la línea 11.1 con 154.7, 382.5 g planta<sup>-1</sup> y 42.5% y el tercero las líneas 51b y el 53b con 118.4, 299.7 g planta<sup>-1</sup> y 42.6% en promedio. Estos progenitores y líneas entre los patrones de los mismos y el efecto que tienen las condiciones del ambiente, se ven reflejadas a maximizar la productividad y seleccionar los mejores cultivares para un propósito en particular (Ñústez *et al.*, 2009).

### **CONCLUSIONES**

Las líneas 118b y 3.3 produjeron mayor rendimiento, los progenitores silvestre, domesticado y las líneas 11.1 y 51b produjeron rendimientos intermedios, y la línea 53b los más bajos. El progenitor S13 presentó el número de vainas y semillas por planta mayores; sin embargo, el

número de semillas por vainas y peso de cien semillas fue el más bajo, mientras que, en el progenitor Negro Tacaná la tendencia anterior fue inversa.

El progenitor S13 y las líneas 118b y 3.3 presentaron la cantidad de biomasa mayor, la línea 53b presentó la biomasa menor. Las líneas 118b y 3.3 y el progenitor S13 fueron los más tardíos; mientras que las líneas 53b, 11.1 y el progenitor NT fueron los más precoces.

### LITERATURA CITADA

- Barrios-Gómez, E. J., y C. López-Castañeda. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia*. 43: 29-35.
- Bracho, B., O. Arnaude, y B. Lozada. 2010. Fenología de cultivares locales de frijol y arveja del municipio Rafael Urdaneta, Estado Táchira, Venezuela, basada en grados día. *Agronomía Trop.* 60: 171-175.
- CEFP (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas). 2013. Análisis mensual de productos básicos. Indicadores agrícolas: maíz y frijol. México. 10 p.
- Chong, C., B. B. Bible, and J. Hak-Yoon. 2002. Germination and emergence. *In: Handbook of plant and crop physiology*. M. Pessarakli (Ed.). 2a. ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2002. pp: 85-146.
- Delgado, S. A., A. Bonet, and P. Gepts. 1988. The wild relative of *Phaseolus vulgaris* L. in middle America. *In: Genetic resources of Phaseolus beans*. P. Gepts (ed.). Kluwer, Dordrecht, Netherlands. pp: 163-184.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Trop.* 31: 74-85.
- Escalante-Estrada, J. A. S., y J. Kohashi-Shibata. 2015. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. 2a. ed. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mpio. de Texcoco, Méx. 84 p.
- García-Esteva, A., J. Kohashi-Shibata, G. A. Baca-Castillo, y J. A. S Escalante-Estrada. 2003. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra Latinoam.* 21: 471-480.

- García-Nava, J. R., A. García-Esteva, J. Kohashi-Shibata, E. Uscanga-Mortera, and C. B. Peña-Valdivia. 2014. Seed yield and its components of wild and cultivated *Phaseolus vulgaris* L. Annu. Rep. Bean Improv. Coop. 57: 303-304.
- García-Urióstegui, A., J. R. García-Nava, E. Uscanga-Mortera, A. García-Esteva, J. Kohashi-Shibata, and G. García-De los Santos. 2015. Bean seed drying and its physiological quality. Annu. Rep. Bean Improv. Coop. 58: 5-6.
- Guzmán-Maldonado, S. H., J. A. Acosta-Gallegos, and O. Paredes-López. 2000. Protein characteristics and mineral contents of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Sci. Food Agric. 80:1874-1881.
- Herrera-Flores, T. S., y J. A. Acosta-Gallegos. 2008. Rendimiento de tres tipos de cruza entre genotipos silvestres y cultivados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agr. Téc. Méx. 34: 167-176.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en los invernaderos: humedad relativa. Prevenir enfermedades y plagas. Rev. Horticultura. pp: 52-54.
- Kelly, J. D. 2001. Remaking bean plant architecture for efficient production. Adv. Agron. 71: 109-143.
- Kohashi-Shibata, J., J. Caprio Da Costa, y S. Miranda C. 1980. Harvest index in *Phaseolus vulgaris* L. Annu. Rep. Bean Improv. Coop. 23: 87-89.
- López-Salinas, E., J. A. Acosta-Gallegos, E. N. Becerra-Leor, G. Frayre-Vazquez, S. H. Orozco, and S. E. Beebe. 1997. Registration of 'Negro Tacana' common bean. Crop Sci. 37: 1022-1022.
- Morales-Rosales, E. J., J. A. S. Escalante-Estrada, y J. A. López-Sandoval. 2008. Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). Univ. Cienc. 24: 1-10.
- Ñústez, C. E., M. Santos, and M. Segura. 2009. Dry matter allocation and partitioning of four potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) in zipaquirá, cundinamarca (Colombia). Rev. Fac. Nal. Agron. Medellín. 62: 4823-4834.
- Pichardo-Riego, J. C., J. A. S. Escalante-Estrada, R. Díaz-Ruíz, A. Quevedo-Nolasco, V. Volke-Haller, y E. J. Morales-Rosales. 2013. Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de cultivares de haba (*Vicia faba* L.) para doble propósito. Rev. Chapingo Serie Hortic. 19: 71-84.
- Rosales, S. R., J. A. Acosta-Gallegos, J. M. Muruaga M., E. G. Esquivel, y H. P. Pérez. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y



- Pecuarías. (Libro técnico No. 6). SAGARPA, INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Valle de México. 160 p.
- Ross, M. A, and C. A. Lembi. 2009. Applied weed science. 3a. ed. Pearson, Prentice Hall. Meridien, Roma. 561 p.
- Salinas-Ramírez, N., J. A. Escalante-Estrada, M. T. Rodríguez-González, y E. Sosa-Montes. 2012. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero en dos ambientes. Rev. Fitotec. Mexic. 35: 317-323.
- SAS (SAS Inc.). 2012. SAS 9.3 for Windows. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA. Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. Agric. For. Meteorol. 35: 353-358.
- Steiner, A. A. 1984. The principal differences between culture with and without soil. Proceeding of the Congress the Palmas. IWOSC. pp: 81-85.
- Zimdahl, R. L. 2007. Fundamentals of weed science. 3a. ed. Academic Press. San Diego, California, CA, USA. 666 p.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES**

La velocidad de secado no modificó la impermeabilidad de la testa del frijol domesticado NT, el silvestre y las líneas 3.3 y 53b. Sin embargo, sí modificó la de las líneas 118b, 11.1 y 51b, la cual se hizo permeable; y por lo tanto, el porcentaje de germinación aumentó.

Bajo condiciones de invernadero y una temperatura promedio de 25 °C, los progenitores y sus líneas, mostraron diferente duración de su ciclo de cultivo, etapas fenológicas y grados día desarrollo.

La velocidad de secado (secado artificial, 15 °C) incrementó sólo el vigor en la línea 118b. Sin embargo, el secado natural y artificial (35 °C) incrementó sólo el vigor en las 11.1, 51b y 118b.

Las líneas 118b y 3.3 produjeron los rendimientos mayores, el silvestre, el domesticado y las líneas 11.1 y 51b intermedios, y la 53b los más bajos. El S13 presentó el número de vainas y semillas por planta mayores; sin embargo, el número de semillas por vaina y peso de cien semillas fue el más bajo, mientras que, en el Negro Tacaná fue lo opuesto.