

Germinación de cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés osmótico

Gisela Aguilar Benítez^{1§}
Estefanía Grizel Vázquez Díaz²
Rigoberto Castro Rivera³
Elia Cruz Crespo⁴
Ramón Jarquín Gálvez²

¹Instituto de Investigación de Zonas Desérticas-Facultad de Agronomía y Veterinaria-UASLP. Calle Altair núm. 200, Colonia del Llano, San Luis Potosí, México. ²Facultad de Agronomía y Veterinaria-UASLP. Carretera San Luis Potosí km 14.5, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP. 78321. ³Instituto Politécnico Nacional-CIBA Tlaxcala. Ex-Hacienda San Juan Molino, carretera estatal Tecuexcomac-Tepetitla km 1.5, Tlaxcala, México. CP.. ⁴Universidad Autónoma de Nayarit-Unidad de Tecnología de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, México. CP. 63780.

§Autor para correspondencia: gisela.aguilar@uaslp.mx.

Resumen

El cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en México ocupa el tercer lugar por superficie establecida, aunque la producción reporta variaciones anuales por la heterogeneidad de condiciones climáticas en las que se produce. Dada la importancia cultural y alimenticia de esta leguminosa, los agricultores y genetistas han seleccionado cultivares con características culinarias deseables y adaptaciones a ambientes restrictivos. El objetivo fue caracterizar la germinación de cultivares de frijol recolectados en Valles Centrales de Oaxaca y el Altiplano Potosino, regiones con ambientes y cultura contrastantes. En el laboratorio de Fitoquímica del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, durante el verano de 2015 se evaluaron cinco cultivares tradicionales y diez cultivares mejorados de frijol. Se cuantificó el porcentaje de germinación con los procedimientos de la prueba estándar descrita por ISTA (2005) y se seleccionaron las semillas que mostraron menor incidencia de contaminación por hongos y mayor porcentaje de germinación. Con cuatro cultivares mejorados y cuatro cultivares tradicionales se determinó el peso promedio de una muestra de 100 semillas y la proporción de estructuras seminales. También se registró el efecto de tres potenciales osmóticos en la germinación (Ψ_0 : 0, -0.5 y -1.1MPa). Se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) en el peso de 100 semillas, el porcentaje de la testa y eje embrionario. En Ψ_0 : 0.0 Mpa y -0.5 Mpa se obtuvieron diferencias ($p \leq 0.05$) entre los cultivares evaluados. En Ψ_0 : -1.1 Mpa la germinación fue nula en todos los cultivares.

Palabras clave: criollo, Mesoamericana, razas.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: marzo de 2019

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante para el consumo humano en México, desde tiempos prehispánicos ha tenido gran importancia alimenticia, social y económica (Anaya *et al.*, 2015; Espinosa *et al.*, 2015; Saburido y Herrera, 2015). En la actualidad, el frijol está presente prácticamente en todas las regiones y condiciones edafoclimáticas de México (Aguilar *et al.*, 2014; Magaña *et al.*, 2014; Delgado y Gama, 2015), encontrándose una amplia diversidad de formas silvestres, tradicionales (variantes seleccionadas y cultivadas con procedimientos empíricos) y mejoradas (Espinosa *et al.*, 2015; Delgado y Gama, 2015).

En los Valles Centrales de Oaxaca, en su forma cultivada (se han registrado variantes silvestres que son aprovechadas), el frijol negro de la raza Mesoamericana tiene una alta demanda para el consumo regional (Lara, 2015), y en respuesta a ello, los agricultores locales con superficies pequeñas de cultivo han seleccionado los cultivares tradicionales que mejor se adaptan a las condiciones edafoclimáticas de los diferentes microambientes de la región, a sus sistemas de cultivo que muchas veces son policultivos y a las necesidades culinarias de sus consumidores. Para estos agricultores las semillas mejoradas no son una opción viable por el costo económico, porque no se adaptan a sus condiciones de cultivo y no son totalmente aceptadas por los consumidores (Aguilar *et al.*, 2014).

En la región del Altiplano Potosino el frijol claro (razas Durango y Jalisco) tiene una amplia aceptación en el mercado (Lara, 2015). Los cultivares tradicionales han sido desplazados por cultivares mejorados con alto rendimiento y tolerancia a sequía y enfermedades fúngicas asociadas a *Rhizoctonia* y *Fusarium* y tizón común asociado a *Xanthomonas* (Saburido y Herrera, 2015). De acuerdo a información directa de los productores, ellos generalmente reciben semilla de cultivares mejorados a través de programas de gobierno; sin embargo, el uso de semilla mejorada no se realiza año con año, para ellos es común utilizar semilla reciclada (semilla que el productor conserva de su cosecha para sembrar en el siguiente ciclo) y venden la semilla que reciben de los programas, e incluso muchas veces la consumen a pesar de estar tratada con productos químicos.

En México 80% de la superficie sembrada de frijol se encuentran bajo el régimen de temporal, por lo tanto, en sistemas de producción para autoconsumo y comerciales la sequía es un fenómeno meteorológico que provoca pérdida parcial o total de las cosechas (Ambachew *et al.*, 2015). Aunque cualquier etapa del ciclo de cultivo puede ser afectada por la sequía, la germinación es una de las etapas más importantes en la vida de las plantas, ya que determina el uso eficiente de los nutrientes y los recursos hídricos disponibles de éstas (Aguilar *et al.*, 2014), por lo que las variedades con mayor germinación en condiciones de restricción de humedad deben recibir especial importancia.

El objetivo de la investigación fue determinar la correspondencia entre características físicas, estructuras seminales y la germinación de semillas de cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las razas Mesoamericana, Durango y Jalisco, simulando restricción de humedad con condiciones de estrés osmótico.

Materiales y métodos

La primera fase de la investigación se realizó a finales del ciclo otoño-invierno de 2014. Se realizaron recolectas de semilla de cultivares negros tradicionales de frijol de la región Valles Centrales de Oaxaca. Esta región tiene un clima dominante BS0hw(w) (seco semicálido), una temperatura de 16 a 22 °C y precipitación de 600 a 800 mm. Durante el mismo periodo se recolectaron cultivares mejorados del Altiplano Potosino, en donde prevalece un clima Bs1K (Semiseco templado), temperatura de 7 a 30 °C y precipitación de 250 a 400 mm.

En Oaxaca se recolectaron las semillas de cultivares utilizados por un mismo productor durante 30 años o más, en los parajes identificados como el Ojuelo (16° 58' 21.4" latitud norte y 96° 46' 16.9" longitud oeste, 1 557msnm), Rancho Juárez 16° 56' 06.4" latitud norte y 96° 44' 37.6" longitud oeste, 1 507 msnm), Villa de Zaachila 1 (16° 56' 28.4" latitud norte y 96° 44' 16.7" longitud oeste, 1 512 msnm), Villa de Zaachila 2 (16° 57' 28.3" latitud norte y 96° 44' 21.3" longitud oeste, 1 513 msnm) y Cuilapam (16° 59' 50" latitud norte y 96° 46' 54" longitud oeste, 1 560 msnm).

Las características por las que los productores conservan estos cultivares son: color de la semilla, tiempo corto para la cocción, sabor y consistencia espesa del caldo. En el estado de San Luis Potosí se recolectaron semillas de cultivares claros mejorados, en las comunidades de la Herradura (23° 02' 83" latitud norte y 101° 74' 75" longitud oeste, 2 140 msnm), San Pablo (22° 48' 26" latitud norte y 101° 54' 80" longitud oeste, 2 180 msnm), El Zacatón (23° 43' 61" latitud norte y 102° 20' 9" longitud oeste, 2 024 msnm) en el municipio de Villa de Ramos (23° 02' 83" latitud norte y 101° 74' 75" longitud oeste, 2 140 msnm) y en el municipio de Salinas de Hidalgo (22° 37' 39" latitud norte y 101° 42' 52" longitud oeste, 2 075 msnm) (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de las zonas de recolectas de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. México.

Los productores nos proporcionaron semilla reciclada de cosecha reciente y manifestaron que deciden el cultivar a sembrar en dependencia de lo que les pide el intermediario que les compra. Se obtuvieron en total 15 cultivares que se etiquetaron como se observa en el Cuadro 1. No se obtuvo el mismo número de muestra por región, ya que en Oaxaca debíamos estar plenamente seguros de recolectar cultivares tradicionales, con la condición previamente descrita.

Cuadro 1. Descripción de etiquetado para las recolectas de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. obtenidas en Valles Centrales de Oaxaca y Altiplano Potosino, México.

Cultivares con testa color negro (Oaxaca)	Cultivares con testa de color claro (San Luis Potosí)
Negro delgado el Ojuelo (NDOJ)	Pinto Saltillo (PS)
Negro delgado Rancho Juárez (NDRJ)	Flor de Junio (FJ)
Negro delgado Villa de Zaachila 1 (NDVZ1)	Bayo la Herradura (BLH)
Negro delgado Villa de Zaachila 2 (NDVZ2)	Flor de Mayo (FM)
Blanco Cuilapam (BDC)	Rosa de Castilla La Herradura (RCH)
	Bayo Salinas (BS)
	Rosa de Castilla Salinas (RCS)
	Bayo Villa de Ramos (BVR)
	Bayo San Pablo (BSP)
	Bayo Zacatón (BZ)

La segunda fase de la investigación se realizó en el Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Para conocer parcialmente la calidad de las semillas, cada cultivar fue desinfectado previamente en una solución de hipoclorito de sodio (NaCl 5% de cloro activo) por cinco minutos y posteriormente se lavaron hasta eliminar el resto de hipoclorito de sodio con agua destilada.

Con las semillas desinfectadas se realizó la prueba estándar de germinación descrita por ISTA (2005), con la adecuación en el tamaño de la muestra, considerando 25 semillas en lugar de 100 por cultivar, con cuatro repeticiones. Las semillas fueron colocadas en una cámara germinadora en condiciones de oscuridad, a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ y 45% de humedad durante 168 h. Se aplicó un riego por atomización con 15 ml de agua destilada cada tercer día para mantener el sustrato húmedo. Al tercer y séptimo día después de establecido el experimento se cuantificaron las semillas germinadas, no germinadas y presencia de patógenos.

Después del ensayo de germinación se seleccionaron las recolectas cuyas semillas mostraron menor incidencia de contaminación por hongos y mayor porcentaje de germinación, quedando así ocho cultivares de frijol: cuatro cultivares tradicionales (NDOJ, NDRJ, NDVZ1 y NDVZ2) y cuatro cultivares mejorados (PS, FJ, BLH y FM). En los ocho cultivares seleccionados se cuantificó el tamaño (masa en gramos) individual de una muestra de 100 semillas en una balanza digital Ohaus Adventure TM AR1530. De este procedimiento se realizaron cinco repeticiones.

La proporción de peso de las estructuras seminales se realizó tomando por cada cultivar grupos de cinco semillas con cuatro repeticiones. En una balanza analítica Scientech® RSA 120 (precisión de 0.0001 g) se pesaron las semillas y se colocaron en 100 ml de agua destilada a temperatura ambiente hasta su imbibición. Las estructuras seminales se separaron manual e individualmente con ayuda de un bisturí. Los cotiledones, eje embrionario y testas se deshidrataron a 70 °C durante tres días, posteriormente se registró su peso en base seca.

Para realizar las pruebas de germinación bajo estrés osmótico, con valores de estrés osmótico reportados en la literatura y pruebas preliminares. Se desinfectaron las semillas. Posteriormente, se colocaron 25 semillas de cada cultivar en cajas Petri (100 x 15 mm.), utilizando como sustrato papel filtro humedecido con 5 ml de agua destilada (testigo) o soluciones acuosas de polietilenglicol (PEG 8000; Sigma-Aldrich®), con Ψ_0 de -0.5 y -1.1 Mpa. Con un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos 8 x 3, con tres repeticiones. Las semillas en éstas condiciones se mantuvieron durante 156 h en una cámara de germinación en condiciones de oscuridad a 25 ± 1 °C, con una humedad relativa de 45%. Las cajas se pesaron cada 60 h para reponer el agua evaporada.

Cada 12 h se cuantificaron las semillas germinadas. Los datos obtenidos se analizaron con la prueba Test de Shapiro Wilk y las variables fueron transformadas con la raíz cuadrada del arco-seno cuando no se cumplió el supuesto. El análisis de varianza y de componentes principales se realizaron con el paquete estadístico SAS® versión 9. Se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación múltiple de medias.

Los gráficos y modelos de ajuste para las curvas de germinación se procesaron con el programa SigmaPlot de Jandel Scientific® (Versión 12). Se realizó un análisis Clúster de clasificación por conglomerados jerárquicos, por el método de vinculación inter-grupos y medida de intervalo euclídea al cuadrado, mediante el Software SPSS V. 20 para IOS.

Resultados y discusión

Peso y germinación estándar de semillas

Se registraron diferencias ($p \leq 0.05$) en la prueba de germinación estándar para los 15 cultivares iniciales de frijol evaluados y se observó la presencia y desarrollo de colonias de hongos y bacterias en las semillas de los cultivares con más baja germinación. Debido a que no fue el objetivo de este trabajo evaluar calidad sanitaria, no se identificaron los hongos presentes, solo se registró visualmente la aparición de estructuras de aspecto algodonoso o pulverulento con micelio aéreo o vegetativo de color blanco o pigmento rosa, amarillo verdoso o difusible amarillo.

Dada la alta incidencia en algunos cultivares, se especula que estos microorganismos afectaron la germinación de la semilla o limitaron el crecimiento de la radícula en esta prueba. Con base en lo anterior, se decidió seleccionar cuatro cultivares tradicionales y cuatro cultivares mejorados, los que, en promedio tuvieron germinación mayor a 80% y evidenciaron menor presencia de hongos.

De los ocho cultivares seleccionados se obtuvieron diferencias ($p \leq 0.05$) en el peso de 100 semillas, resultando, en términos generales, que las semillas de frijoles negros fueron menos pesadas que las semillas de frijoles claros, y la diferencia en peso fue 118% entre la variedad menos pesada NDVZ1 y la menos pesada FM (Cuadro 2; Figura 2).

Cuadro 2. Peso de 100 semillas de cultivares tradicionales y mejorados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Cultivar	Peso de 100 semillas (g)
Negro Delgado El Ojuelo	12.946 ^g
Negro Delgado Rancho Juárez	15.564 ^f
Negro Delgado Villa de Zaachila 1	13.59 ^g
Negro Delgado Villa de Zaachila 2	17.034 ^e
Pinto Saltillo	29.706 ^b
Flor de Junio	24.832 ^d
Bayo	32.8 ^a
Flor de mayo	28.244 ^c

Valores en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).



Figura 2. Aspecto general de los cultivares mejorados (claros) y tradicionales (negros) de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) evaluados.

Espinosa *et al.* (2015), encontraron que las semillas de los cultivares que corresponden a la raza Mesoamericana (testa negra) son de menor peso en comparación de las semillas de los cultivares de la raza Jalisco. Para la raza Mesoamericana, los autores mencionados reportan un rango de peso entre 22.4 a 57.5 g/100 semillas, mientras que el rango obtenido en este estudio fue de 12.9 a 17.03 g/100 semillas.

La raza Jalisco (Flor de Mayo y Flor de Junio) mostró un tamaño de semilla mayor a la Mesoamericana, con pesos entre 24.8 y 28.2 g/100 semillas. Estos datos concuerdan con los presentados por Barrios *et al.* (2014), quienes registraron pesos de 20.2 a 28.7 g/100 semillas en diferentes cultivares de la misma raza. La raza sobresaliente por peso fue la raza Durango (Pinto Saltillo y Bayo), con un peso promedio mayor a 28.9 g/100 semillas, dato que coincide con lo encontrado por Barrios *et al.* (2014).

Los resultados presentados en este estudio evidencian que el peso de la semilla es característica inherente de la raza y variedad y tiene carácter genético tal como lo cita Mondal *et al.* (2012). Además, se ha documentado que el tamaño de semilla de algunas leguminosas responde a adaptaciones climáticas, encontrando que semillas pequeñas corresponden a linajes mejor adaptados a condiciones tropicales (Mugnisjah *et al.*, 1987). Hay reportes previos que señalan que las semillas pequeñas de origen tropical tienen más alta germinación que las semillas medianas y grandes (Pearson y Miklas, 1992), lo que puede indicar que la selección está dirigida a un sistema radical superior y no a un mayor tamaño de semilla (Kuruvadi *et al.*, 1998).

De otra forma, las diferencias de peso encontradas en este estudio, en relación a registros previos para la raza Mesoamericana (Espinoza *et al.*, 2015), pueden ser el resultado de factores como el periodo de llenado de semilla y la tasa de crecimiento de la semilla, lo que se sabe tienen una correlación positiva con el tamaño de ésta y se ven influenciados por las condiciones ambientales (Egli, 1999).

Estructuras seminales

En relación a la proporción de las estructuras seminales, se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) en el porcentaje de testa y eje embrionario, mientras que, en la proporción de cotiledones, que se registró entre 87.65 y 90.55%, no se obtuvieron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre cultivares evaluados (Figura 3). Barrios *et al.* (2014) y Celis *et al.* (2008) evidenciaron que los cotiledones representaron más 90% de la biomasa del embrión, también sin presentar diferencias significativas entre cultivares y razas.

El cultivar que presentó mayor porcentaje de testa ($p \leq 0.05$) fue Negro Delgado Villa de Zaachila 1 (10.04%), mientras que los cultivares Pinto Saltillo (8.30%) y Bayo la Herradura (8.47%) fueron los que mostraron menor proporción de testa. Barrios *et al.* (2014), reportan que el porcentaje de testa para los cultivares de raza Durango fue 8.3%, coincidiendo con el presente trabajo. Celis *et al.* (2010), encontraron una diferencia significativa en el porcentaje de testa de frijoles con diferentes grados de domesticación, observando que los valores más bajos corresponden a los cultivares mejorados y los más altos a los cultivares silvestres, esto concuerda con los resultados aquí presentados, ya que el Negro Delgado Villa de Zaachila 1 corresponde a un cultivar tradicional.

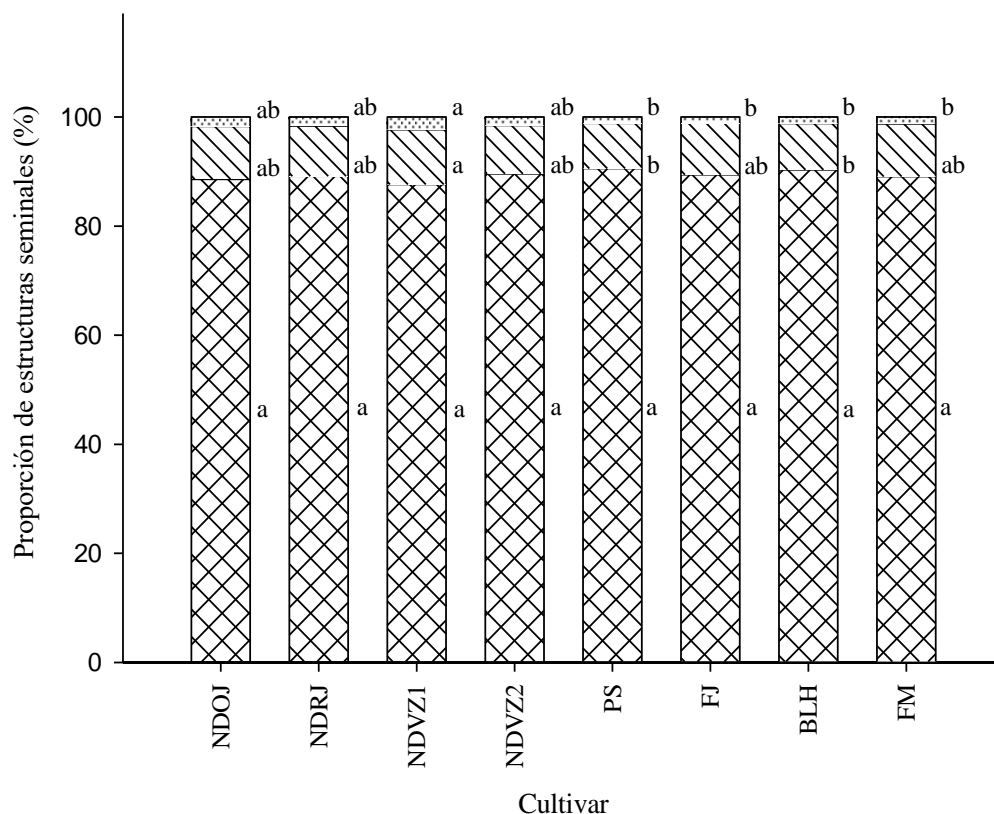


Figura 3. Proporción de estructuras seminales de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. de los cultivares evaluados. Cotiledones (▣), testa (▨), eje embrionario (▤). Valores en segmentos de las barras con letra diferente son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Además, se ha reportado que una mayor proporción de testa respecto al peso total de semilla se considera un atributo relacionado con su color, en donde testas de color oscuro son más gruesas, por lo que ambos atributos pueden ser favorables para asegurar la calidad física y sanitaria de la semilla, ya que una testa gruesa es menos susceptible a agrietarse y protege a las demás estructuras del daño por inhibición rápida y puede ser un factor que asegure una mayor longevidad de la semilla; además, algunos autores mencionan que testas oscuras contienen propiedades fungicidas (Tully *et al.*, 1981; De Souza y Marcos-Filho, 1998, 2001). Esto último podría explicar parcialmente porqué los cultivares mejorados de color claro son más susceptibles al daño mecánico de la testa y al ataque por hongos.

En la presente investigación el cultivar con mayor proporción del eje embrionario fue Negro delgado Villa de Zaachila 1 (2.30%) y los cultivares con menores proporciones fueron Pinto Saltillo (1.13%), Flor de Junio (1.11%), Bayo la Herradura (1.17%) y Flor de Mayo (1.25%). De acuerdo a Pearson y Miklas (1992), a mayor tamaño de semilla el eje embrionario es más pequeño y la emergencia es más lenta en comparación con semillas de tamaño pequeño. Lo anterior, indicaría una emergencia vigorosa en semillas pequeñas y un mayor desarrollo de órganos conferido por la mayor biomasa del eje embrionario, que podría priorizar el desarrollo radical, además que las semillas pequeñas requieren menor cantidad de humedad para la emergencia (Barrios *et al.*, 2014), como se observa con los resultados obtenidos en la germinación en diferentes potenciales osmóticos.

Germinación en diferentes potenciales osmóticos

Se obtuvieron diferencias ($p \leq 0.05$) entre los cultivares evaluados en porcentaje de germinación, en $\Psi_0 = 0$ y -0.5 Mpa los frijoles negros superaron ($p < 0.05$) a los claros y en el $\Psi_0 = -1.1$ Mpa no hubo germinación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de germinación de semillas de cultivares *Phaseolus vulgaris* L. evaluados en condiciones de estrés osmótico.

Cultivar	Porcentaje de germinación en diferentes Ψ_0 (Mpa)		
	0	-0.5	-1.1
Negro Delgado El Ojuelo	90 ^a	41.48 ^a	0 ^a
Negro Delgado Rancho Juárez	79.04 ^a	30.82 ^{ab}	0 ^a
Negro Delgado Villa de Zaachila 1	78.46 ^a	31.82 ^{ab}	0 ^a
Negro Delgado Villa de Zaachila 2	79.39 ^a	24.1 ^b	3.84 ^a
Pinto Saltillo	3.84 ^b	0 ^c	0 ^a
Flor de Junio	18.63 ^b	0 ^c	0 ^a
Bayo	10.6 ^b	0 ^c	0 ^a
Flor de Mayo	21.47 ^b	0 ^c	0 ^a

Valores en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los resultados con el $\Psi_0 = 0$ sugieren que para germinar las semillas de los cultivares claros se requiere mayor humedad que para las semillas de testa negra. Aguilar *et al.* (2014), Reyes *et al.* (2014) y Polón *et al.* (2014) encontraron resultados similares al experimentar con cultivares criollos y mejorados de frijol, bajo condiciones de estrés hídrico, se observaron respuestas diferenciales entre especies y recolectas, evidenciando germinación superior en cultivares tradicionales.

Es notorio en los resultados con el potencial de -0.5 Mpa, que las semillas con mayor peso de los cultivares tradicionales registraron menor germinación que el resto, lo que indica que las semillas pequeñas en este estudio requirieron una menor cantidad de agua para su germinación.

En este estudio se utilizaron las tres razas representativas de México: Durango, Jalisco y Mesoamericana y claramente la raza Mesoamericana tiene una mejor respuesta en cuanto a germinación bajo estrés osmótico. Beebe *et al.* (2013), identificaron a las razas Durango y Mesoamericana, con mayor tolerancia a sequía, mientras que los genotipos de la raza Jalisco fueron susceptibles. Thome *et al.* (1995), utilizando un conjunto de 20 genotipos, en su mayoría de la raza Durango, realizaron una prueba de ocho ensayos en tres regiones diferentes en México, los cultivares que mostraron amplia adaptación en todas las regiones eran de reacción neutra al fotoperíodo; característica encontrada en líneas de raza Mesoamericana, además de un rendimiento superior en condiciones de sequía (Beebe *et al.*, 2008).

El análisis de correlación exhibe correlaciones negativas entre el peso de semilla y proporción de testa y germinación, mientras que la germinación se correlacionó positivamente con la proporción de testa (Cuadro 4).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre variables de estructuras seminales y germinación de *Phaseolus vulgaris* L.

	Peso	Cotiledones	Testa	Germinación
Peso	1			
Cotiledones	0.0576	1		
Testa	-0.6945	0.3907	1	
Germinación	-0.9594	0.0486	0.618	1

Estos datos fortalecen lo discutido previamente en relación a que las semillas más grandes presentaron una menor proporción de testa, semillas más pequeñas germinaron en mayor porcentaje, y una mayor proporción de testa en la semilla puede incidir en una mayor germinación.

Con las variables peso y proporción de estructuras seminales (testa, cotiledones), se obtuvo el dendograma (Figura 4) en el que se observa una clara separación entre frijoles claros y negros. En los frijoles claros, los cultivares Flor de Mayo y Pinto Saltillo son más parecidos entre sí con respecto a Bayo Herradura y Flor de Junio. En los frijoles negros, Zaachila 1 y 2 no se agrupan a pesar de ser cosechados en la misma localidad, mientras que Rancho Juárez y Negro Ojuelos, cosechados en Cuilapám de Guerrero, si están relacionados.

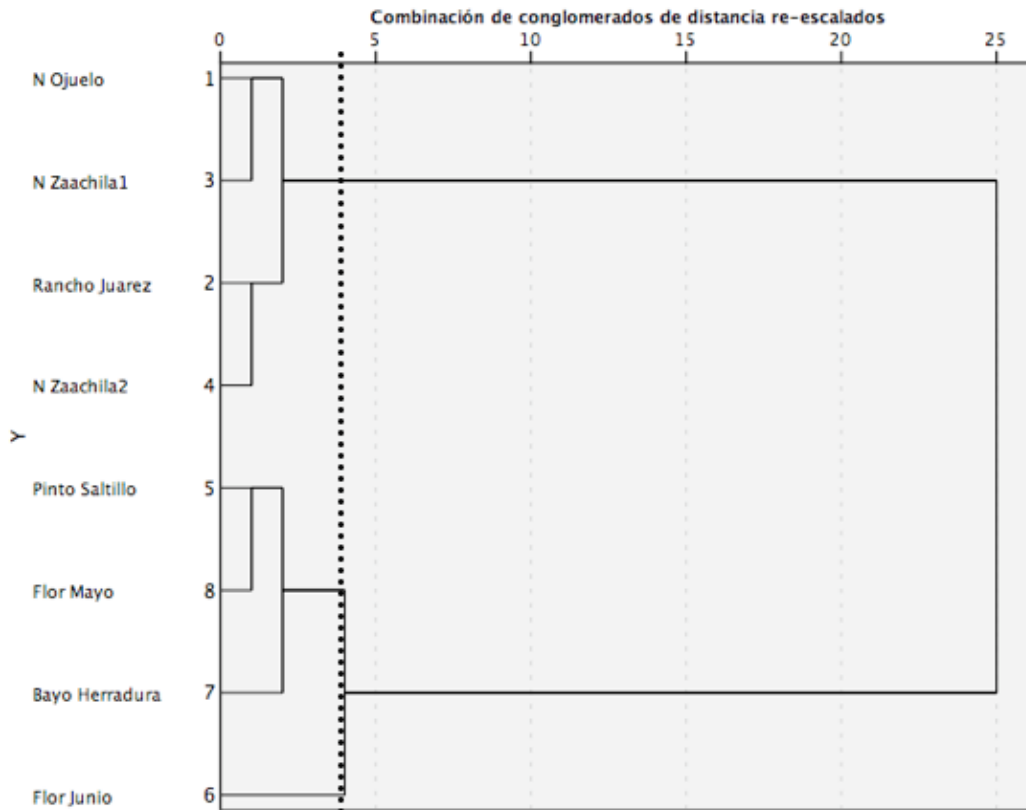


Figura 4. Dendograma de vinculación media (entre grupos) con las variables peso y estructuras seminales.

En esta investigación no se registraron características fenotípicas de los cultivares recolectados, de esta forma, la discusión de los resultados se centra en la información proporcionada por los productores y los registros para caracterizar las semillas evaluadas. Durante la etapa de recolección de las semillas, los productores de Oaxaca indicaron que la selección de su semilla se basa principalmente en criterios culinarios como sabor, consistencia del caldo y tiempo de cocción, que son factores que determinan la aceptación del consumidor, también criterios agronómicos como tolerancia a la sequía o al ataque de gorgojo y rendimiento son variables que los inclinan a seleccionar su semilla, pero una semilla grande no es un criterio importante.

En contraparte, los productores del Altiplano Potosino siembran la semilla de cultivares que saben podrán vender fácilmente y reciclan semillas de cultivares mejorados para abaratar costos de producción, para ellos el tamaño de semilla es importante porque los acaparadores llevan cribas para clasificar su producto y con base en ello establecer el precio, un grano más grande y homogéneo es mejor pagado.

Evidentemente, los criterios de selección en cada región de estudio buscan responder a las diferentes necesidades de los agricultores y el mercado destino, cumpliendo para cada contexto con objetivos particulares. En los resultados resalta la variación entre cultivares negros que los productores y consumidores identifican claramente como ‘criollo delgado’ y esta variación puede atribuirse a las distintas formas de manejo, microambientes de selección y criterios de selección. Llama la atención este resultado para urgir la necesidad de continuar esfuerzos para sistematizar el conocimiento de la variabilidad del germoplasma tradicional e impulsar la conservación *in situ* de los atributos especiales que los pequeños agricultores han logrado, en términos de seguridad alimentaria y acervo biocultural.

Conclusiones

Se evidenció la variación al interior de los cultivares tradicionales en características de tamaño de semilla, proporción de estructuras seminales y germinación bajo escasez de humedad, lo que hace evidente la necesidad de continuar generando conocimiento sobre el potencial genético de estos cultivares y los criterios de selección de los productores que los conservan.

Las semillas de cultivares mejorados fueron las más grandes, no presentaron diferencias entre ellos en la proporción de estructuras seminales y sólo un bajo porcentaje germinó en condiciones aptas para semillas pequeñas de cultivares tradicionales.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Investigación de Zonas Desérticas y al Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo por facilitar sus instalaciones, materiales y apoyo económico para esta investigación. Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP DSA/103.5/14/7437), Coordinación de Becas de Educación Superior (CNBES) y a la Federación Universitaria Potosina (FUP) 2015-2017.

Literatura citada

- Aguilar, B. G.; Peña, V. C. B.; Ruiz, V. J.; Castro, R. R. and Ramírez T. H. M. 2014. Seed germination and early root growth in common bean and maize landraces and improved cultivars at different water stress levels. USA. *Inter. J. Appl. Sci. Tecnol.* 4(4):119-127.
- Ambachew, D.; Mekbib, F.; Asfaw, A.; Beebe, S. E. and Blair, M. W. 2015. Trait associations in common bean genotypes grown under drought stress and field infestation by BSM bean fly. China. *The Crop J.* 3:305-316.
- Anaya, L. J. L.; Silva, R. L.; Montero, T. V.; Espejel, F. y Acosta, G. J. A. 2015. Retos y oportunidades en la selección asistida de frijol resistente a BCMV y BCMNV en México. *In: dimensión el problema.* México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(3):453-465.
- Barrios, G. E. J.; López, C. C.; Kohashi, S. J.; Acosta, G. J. A.; Miranda, C. S.; Mayek, P. N. y Canul, K. J. 2014. Morfología del embrión en frijol y su comparación entre razas Durango y Jalisco. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(6):965-978.
- Beebe, S. E.; Rao, I. M. and Grajales, M. 2008. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Sci.* 48:582-592.
- Beebe, S. E.; Rao, I. M.; Blair, M. W. and Acosta, G. J. A. 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. USA. *Frontiers in Physiology Plant Physiol.* 4(35):1-20.
- Celis, V. R.; Peña, V. C. B.; Trejo, L. C.; Aguirre, R. J. R.; Cordova, T. L. y Carballo, C. A. 2008. Consumo de reservas de la semilla de frijol para la emergencia y desarrollo inicial en diferentes profundidades de siembra. México. *Agron. Mesoam.* 19(2):167-177.
- Celis, V. R.; Peña, V. C. B.; Luna, C. M. y Aguirre, R. 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.
- De Souza, F. H. D and Marcos-Filho, J. 2001. The seed coat as a modulator of seed-environment relationships in Fabaceae. *Brazilian J. Bot.* 24(4):365-375.
- Delgado, A. y Gama, L. S. 2015. Diversidad y distribución de los frijoles silvestres en México. México. *Rev. Digital Universitaria.* 16(2):1-11.
- Egli, D. B. 1999. Variation in leaf starch and sink limitations during seed filling in soybean. *Crop Sci.* 39:1361-1368.
- Espinosa, P. E. N.; Ramírez, V. P.; Crosby, G. M. M.; Estrada, G. J. A.; Lucas, F. B. y Chávez, S. J. I. 2015. Clasificación de poblaciones nativas de frijol común del Centro-Sur de México por morfología de semilla. México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(1):29-38.
- ISTA. 2005. International rules for seed testing. International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland. 243 p.
- Kuruvadi, S.; Hernández, F. F. y Galván, C. F. 1988. Diferencias varietales para características de plántula de frijol en dos medios de siembra. *Rev. Fitotec. Mex.* 11:133-141.
- Lara, F. M. 2015. El cultivo del frijol en México. México. *Rev. Digital Universitaria.* 16(2):1-11.
- Magaña, L. D.; Gaucín, P. S. D. y Flores, R. L. D. 2014. Análisis sectorial y de la dinámica de los precios del frijol en México. Venezuela. *COMPENDIUM.* 3:1-21.
- Mondal, M. M. A.; Puteh, A. B.; Malek, M. A. and Ismail, M. R.. 2012. Optimizing seed rate of mungbean. *Legume Res.* 35:126-131.
- Mugnisjah, W. Q.; Shimano, I. and Matsumoto, S. 1987. Studies of the vigor of soybean seed. II. Varietal differences in seed coat quality and swelling components on seed during moisture imbibition. *J. Faculty Agric. Kyushu University.* 3:227-234.

- Pearson, C. H. and Miklas, N. P. 1992. Seed size and planting depth effects on emergence and yield of pinto bean. USA. *Prod. Agric.* 5:103-106.
- Polón, P. R.; Miranda, C. A.; Ramírez, A. M. A. y Maqueira, L. L. A. 2014. Efectos del estrés de agua sobre el rendimiento de granos en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cuba. *Rev. Cienc. Téc. Agropec.* 23(4):33-36.
- Reyes, M. J.; Martínez, M. D.; Rueda, L. R. y Rodríguez, R. T. 2014. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. USA. *Rev. Iberoam. Cienc.* 1(2):191-203.
- Saburido, A. M. de la S. y Herrera, E. A. 2015. El frijol en la era genómica. México. *Rev. Digital Universitaria.* 16(2):1-16.
- Thome, J.; Toro, O.; Vargas, J. and Debouck, D. G. 1995. Variability in Andean Nuña common beans (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). USA. *Econ. Bot.* 49:78-95.
- Tully, R. E; Musgrave, A M. E. and Leopold, C. 1981. The seed coat as a control of imbibitional chilling injury. *Crop Sci.* 21:312-317.