

Rendimiento y adaptación de genotipos de frijol negro opaco en ambientes con y sin sequía terminal

Oscar Hugo Tosquy-Valle¹
Ernesto López-Salinas¹
Bernardo Villar-Sánchez²
Rigoberto Zetina Lezama¹
Jorge Alberto Acosta-Gallegos^{3§}
José Raúl Rodríguez-Rodríguez⁴
Francisco Javier Ibarra-Pérez¹

¹Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34, Medellín de Bravo, Veracruz, México. AP. 429. CP. 91700. Tel. 01(800) 0882222, ext. 87232. ²Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3.0, Ocozocoautla, Chiapas. CP. 29140. ³Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato. CP. 38000. ⁴Campo Experimental Ixtacuaco-INIFAP. Carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan km 4.5, Martínez de la Torre, Veracruz, México. AP. 162.

§Autor para correspondencia: acosta.jorge@inifap.gob.mx.

Resumen

La sequía al final de la etapa reproductiva (terminal), es uno de los principales factores ambientales que limitan el rendimiento de frijol en las siembras de humedad residual en Veracruz y Chiapas, México. El objetivo de esta investigación fue determinar el rendimiento y la adaptación de 13 genotipos de frijol bajo condiciones de humedad residual en localidades con y sin estrés hídrico terminal. La nueva variedad Verdín, junto con 10 líneas avanzadas y las variedades Negro Tacaná y Negro Jamapa se evaluaron en tres ambientes de Veracruz y Chiapas en otoño-invierno (O-I) de 2013 y primavera-verano (P-V) de 2014. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. Durante el ciclo del cultivo se registró la precipitación pluvial y se determinó la dinámica de la humedad aprovechable del suelo. Las variables de respuesta fueron: días a la madurez fisiológica y rendimiento de grano. Se realizaron análisis combinados de los seis ambientes de prueba y también un análisis para determinar la estabilidad de rendimiento y adaptación de los genotipos. La dinámica de la humedad aprovechable indicó que, en Medellín y Ocozocoautla, en O-I de 2013 y en Medellín y Cintalapa en P-V de 2014, prevalecieron condiciones de sequía terminal, mientras que en Tlapacoyan, en ambos ciclos de producción, las plantas no tuvieron estrés por humedad. Así, las diferencias en disponibilidad de humedad durante la etapa reproductiva, a través de las localidades de prueba afectó la respuesta productiva y la duración del ciclo de cultivo de los genotipos evaluados. Entre los genotipos, la variedad Verdín mostró alto rendimiento con y sin sequía terminal con 1 121.7 y 1 568 kg ha⁻¹, su rendimiento fue significativamente ($p > 0.01$) superior al de los testigos comerciales, Negro Tacaná y Negro Jamapa.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, estrés hídrico, precocidad, rendimiento.

Recibido: abril de 2018

Aceptado: junio de 2018

Introducción

En los estados de Veracruz y Chiapas, la sequía al final del ciclo del cultivo (terminal) es el factor ambiental que más limita la producción de frijol en el sistema de humedad residual de los ciclos de otoño-invierno y primavera-verano en los que anualmente se cultivan cerca de 65 000 ha frijol negro, opaco y pequeño, de raza Mesoamericana, que es el de mayor demanda comercial en el sureste de México (Castellanos *et al.*, 1997; López *et al.*, 2015).

En el sistema de humedad residual, conforme avanza el ciclo del cultivo, la precipitación pluvial disminuye y ocurren periodos de sequía durante la etapa reproductiva denominada terminal, debido a que coinciden con la etapa de llenado de grano, que es cuando las plantas de frijol son más susceptibles a la falta de humedad en el suelo (Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Muñoz-Perea *et al.*, 2006; López *et al.*, 2011), esto impide que la planta exprese su potencial productivo (Núñez-Barrios *et al.*, 2005; Ghassemi-Golezani y Mardfar, 2008) y dependiendo de su duración y magnitud, pueden ocasionar pérdidas de 20 o hasta de 100% en el rendimiento de grano (Castañeda *et al.*, 2006; López *et al.*, 2008).

Para contribuir a solucionar la problemática indicada, a partir de 2007 el Programa de Frijol del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), inició estudios sobre sequía terminal en frijol negro en el centro del estado de Veracruz, utilizando la metodología de riego-sequía en combinación con el uso del índice de susceptibilidad a sequía (ISS) (Fischer y Maurer, 1978) y de eficiencia relativa del rendimiento (IER) Graham (1984), los cuales han sido efectivos en la identificación de líneas y desarrollo de cultivares mejorados con tolerancia a este factor ambiental (Rosales-Serna *et al.*, 2000; Frahm *et al.*, 2003).

De esos trabajos de investigación, se identificaron líneas avanzadas y variedades que presentaron adaptación a condiciones de deficiencia de humedad (López *et al.*, 2008; 2011), las cuales se continuaron evaluando en invierno-primavera de 2013, junto con otras líneas avanzadas del Programa Nacional de Frijol del INIFAP, del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Palmira, Colombia, de la Universidad Estatal de Michigan, en Estados Unidos de América y de la Universidad de Puerto Rico, en Mayagüez, Puerto Rico, utilizando la metodología de riego-sequía, y monitoreando el contenido de humedad aprovechable en el suelo durante el ciclo del cultivo, para determinar con precisión el grado de sequía en el que se desarrollaron estos genotipos de frijol (Hillel, 1980) y su respuesta productiva en condiciones de estrés por humedad.

La línea SEN 70 registrada por el INIFAP con el nombre de Verdín, fue seleccionada junto con otras 10 líneas, por su tolerancia a la sequía terminal y alta eficiencia productiva bajo riego y sequía (Tosquy *et al.*, 2014; 2016), para conformar un ensayo de rendimiento que se condujo durante 2013 y 2014 en seis ambientes de los estados de Veracruz y Chiapas, México. El objetivo de esta investigación fue determinar el ciclo de cultivo, rendimiento y la adaptación de 13 genotipos de frijol, en condiciones de humedad residual, con y sin estrés hídrico terminal, en localidades de ambas entidades federativas.

Materiales y métodos

El ensayo con los 13 genotipos se estableció durante el ciclo otoño-invierno de 2013, en las localidades de Ocozocoautla, en el centro del estado de Chiapas, y en Medellín y Tlapacoyan, en las zonas centro y norte del estado de Veracruz, respectivamente, y en el ciclo primavera-verano de 2014 con siembras en febrero, en Medellín y Tlapacoyan, Ver. y en Cintalapa, en el centro de Chiapas. En el Cuadro 1, se muestran las principales características ambientales de los sitios de prueba de esta variedad.

Cuadro 1. Ciclos agrícolas y características ambientales de los sitios de evaluación de 13 genotipos de frijol en los estados de Veracruz y Chiapas, México.

Año	Ciclo	Condición	Localidad/estado	Altitud (m)	Textura de suelo	pH edáfico	Tipo de clima
2013	O-I	HR	Ocozocoautla, Chiapas	805	MAA	7.20	(A)C(w ₁) ig'
		HR	Medellín, Veracruz	22	Franca	6.05	Aw ₀ (w)(g)
		HR	Tlapacoyan, Veracruz	92	MA	5.39	Af(m)(e)
2014	P-V	RA	Medellín, Veracruz	22	Franca	6.05	Aw ₀ (w)(g)
		HR	Tlapacoyan, Veracruz	92	MA	5.78	Af(m)(e)
		RA	Cintalapa, Chiapas	595	MA	5.99	Aw'' ₀ (w) (i')(g)

Fuente: García (1987); Díaz *et al.* (2006); Serrano *et al.* (2006). O-I= otoño-invierno; P-V= primavera-verano; HR= humedad residual; RA= riego de auxilio durante la etapa vegetativa del cultivo; MAA= migajón arcillo arenoso; MA= migajón arenoso.

El ensayo incluyó seis líneas avanzadas de frijol negro provenientes del Programa de Frijol del CIAT [SEN-70 (Verdín), SEN-56, CIAT-103-25, SCN-2, NCB-229 y SEQ-344-21], cuatro del Programa Nacional de Frijol del INIFAP (NGO-17-99, ELS-9-27, NGO-07022 y Jamapa Plus) y la línea X02-33-153 de la Universidad de Puerto Rico, así como las variedades comerciales Negro Tacaná y Negro Jamapa (testigos), generadas para el sureste de México (López *et al.*, 1996; Rosales *et al.*, 2004). Los genotipos se establecieron en suelo húmedo a una densidad de 250,000 plantas ha⁻¹, en diseño experimental bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas de tres surcos de 5 m de longitud, donde la parcela útil correspondió al surco central eliminando la última planta de sus extremos.

Cabe indicar, que en los ensayos que se condujeron en primavera-verano de 2014, en Medellín, Ver., y en Cintalapa, Chis., se aplicaron tres riegos (uno en pre-siembra y dos de auxilio durante la fase vegetativa del cultivo) de una lámina de agua de alrededor de 40 mm cada uno, esto debido a que en ambas localidades no hubo eventos de lluvia durante todo el ciclo del cultivo. En las otras cuatro localidades, el ensayo se condujo con la humedad residual del suelo y las lluvias que ocurrieron durante el ciclo el cultivo. El manejo agronómico se realizó de acuerdo a las recomendaciones que hace el INIFAP, para el cultivo de frijol en los estados de Veracruz y Chiapas (López *et al.*, 1994; Villar *et al.*, 2002).

En los sitios experimentales en donde se estableció el ensayo se cuantificó la precipitación pluvial y se determinó la humedad del suelo en el perfil de 0 a 45 cm desde la siembra hasta la etapa de madurez fisiológica del cultivo. El registro de la precipitación pluvial se realizó en pluviómetros

de PVC, realizando las lecturas en probetas graduadas. La humedad del suelo se obtuvo con el método gravimétrico (Florentino, 2006), en muestras tomadas una vez por semana, distribuidas al inicio, centro y final de cada repetición.

Asimismo, se tomaron otras muestras de suelo a la misma profundidad, para determinar el punto de marchitez permanente (PMP) y la capacidad de campo (CC) con el método de las columnas (Aguilera y Martínez, 1980); con estos indicadores, la humedad del suelo se expresó como humedad aprovechable para el cultivo, correspondiendo 0% a la humedad del PMP y 100% a la humedad de CC (Hillel, 1980). Los valores de humedad aprovechable del suelo se graficaron, para conocer su dinámica antes y después de la floración del cultivo. Se consideró como sequía terminal, cuando la humedad aprovechable en el suelo fue menor de 45% (Allen *et al.*, 2006).

Durante la conducción de los ensayos se determinaron los días a la madurez fisiológica de los genotipos, contados a partir de la siembra hasta que las vainas de 50% de plantas uno, cambiaron de color verde a amarillo o morado, y el rendimiento de grano, que se calculó a partir del peso del grano cosechado de cada parcela experimental, en kilogramos por hectárea al 14% de humedad. Los datos de ambas variables se sometieron a un análisis de varianza combinado de los ambientes en que hubo ocurrencia de sequía y sin sequía terminal, así como a un análisis conjunto de los seis ambientes de prueba. Para la separación de promedios se aplicó la prueba basada en la diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad de error (DMS, $\alpha= 0.05$) (SAS Institute, 1999). También se realizó un análisis de parámetros de estabilidad del rendimiento, de acuerdo al modelo propuesto por Eberhart y Russell (1966) y la adaptación y estabilidad de los genotipos se clasificaron con base en los coeficientes de regresión y las desviaciones de regresión (Carballo y Márquez, 1970).

Resultados y discusión

Precipitación pluvial y balance de humedad del suelo de los sitios experimentales

Durante el ciclo otoño-invierno de 2013 en los sitios ubicados en Ocozocoautla y Medellín, se tuvieron precipitaciones pluviales acumuladas hasta la madurez fisiológica del cultivo de 97.7 y 52.1 mm, respectivamente (Figura 1), con baja disponibilidad de humedad durante la mayor parte de la fase reproductiva, mientras que en el de Tlapacoyan, se registraron lluvias frecuentes, con una precipitación pluvial acumulada durante el ciclo del cultivo de 391.6 mm, por lo que las plantas de frijol se desarrollaron sin estrés por humedad.

Los suelos en los que se estableció el ensayo presentaron una capacidad de campo (CC) de 23.6, 20.3 y 13% en los sitios de Medellín, Tlapacoyan y Ocozocoautla, respectivamente, con un punto de marchitez permanente (PMP) de 12.5, 10.8 y 6%, en los mismos sitios, por lo que la humedad aprovechable máxima fue de 11.1, 9.5 y 7% (Hillel, 1980).

En Medellín, se observó un descenso paulatino de la humedad aprovechable del suelo conforme el cultivo avanzó a la madurez fisiológica, el cual se asoció a la baja cantidad de lluvias ocurridas durante la fase vegetativa. En Ocozocoautla se tuvo alta variación en la humedad aprovechable, sobre todo antes de la floración de los genotipos; después de ese periodo hasta la etapa de madurez fisiológica se observó déficit hídrico, el cual fue más severo que en Medellín, debido

principalmente a una menor capacidad de retención de humedad del suelo (7% vs 9.5%), asociada a su textura más arenosa (52.4% vs 33.2% de arena) y menor contenido de materia orgánica (1.1% vs 2.5%). A su vez, en Tlapacoyan, aunque la humedad aprovechable fue variable durante el ciclo de cultivo, ésta se mantuvo por arriba del límite crítico (45%), por lo que las plantas de frijol no sufrieron de estrés hídrico durante todo su desarrollo.

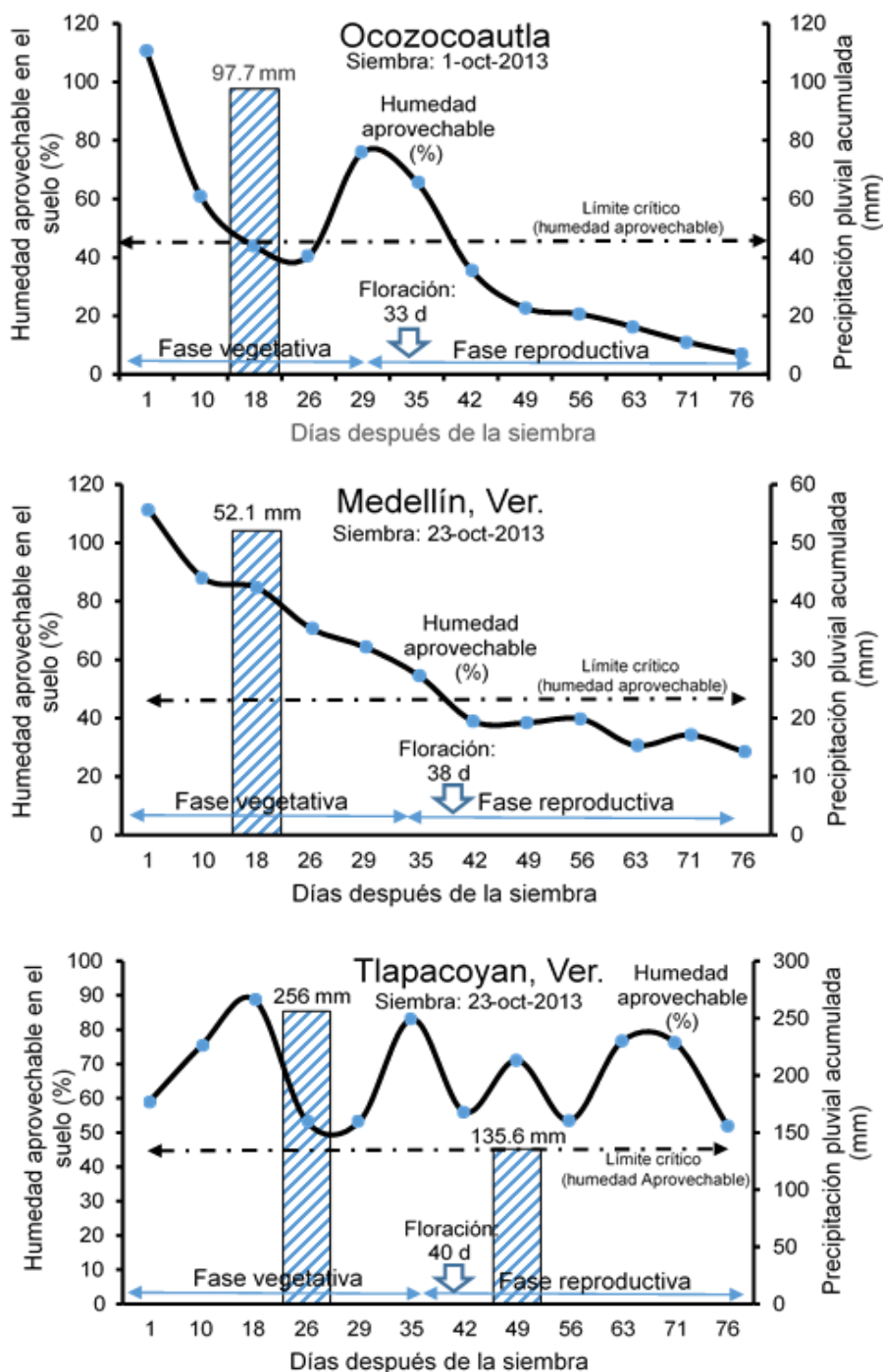


Figura 1. Precipitación pluvial ocurrida y humedad aprovechable en el perfil del suelo en Ocozacoautla, Medellín y Tlapacoyan, durante el ciclo otoño-invierno de 2013.

La humedad aprovechable desde la siembra hasta la floración de la mayoría de los genotipos fue de 73.2, 67.0 y 61.9%, en los sitios de Medellín, Tlapacoyan y Ocozocoautla, respectivamente. Después de ese periodo, hacia las etapas finales del cultivo, la humedad aprovechable en los sitios respectivos fue de 34.3, 65.9 y 15.5%.

En el ciclo primavera-verano de 2014 no se registraron precipitaciones pluviales durante todo el ciclo del cultivo en Medellín y Cintalapa, por lo que, el frijol se desarrolló con la humedad aportada por los riegos que se aplicaron en pre-siembra y durante la fase vegetativa, posterior a esta fase, en ambos sitios se observó un descenso paulatino de la humedad aprovechable (Figura 2), con ocurrencia de sequía a partir del inicio de la etapa de llenado de vainas (50 y 52 d después de la siembra) hasta la madurez fisiológica, que ocurrió en promedio a 70.7 y 68.1 d, respectivamente.

A su vez, en Tlapacoyan se registraron lluvias que acumularon 187.2 mm durante el ciclo, con distribución adecuada y mayor cantidad durante la fase reproductiva, por lo que, en este caso, el cultivo se desarrolló bajo mejores condiciones de humedad aprovechable que en los otros dos sitios de prueba (principalmente después de la floración), la cual fue suficiente para que las plantas de frijol estuvieran sin estrés por humedad hasta el final de la etapa de llenado de vainas (69 d). Posteriormente, la humedad aprovechable disminuyó hasta rebasar el límite crítico de 45% (Allen *et al.*, 2006) hacia la etapa de madurez fisiológica. Se sabe que la ocurrencia de sequía terminal al final del llenado de vainas no tiene efecto en el rendimiento de grano, debido a que las plantas de frijol inician su madurez (Mouhouche *et al.*, 1998; Nielsen y Nelson, 1998).

En los sitios de Medellín, Tlapacoyan y Cintalapa los suelos presentaron una CC de 23.6, 20.2 y 13.4% y un PMP de 12.5, 9.9 y 7.6%, respectivamente, lo que permitió una humedad aprovechable de 11.1, 10.3 y 5.8%. Lo anterior, indica que el suelo de Cintalapa tiene menor capacidad para almacenar humedad, que el de Medellín y Tlapacoyan, debido principalmente a su menor contenido de materia orgánica (1.36% vs 2.44 y 2.24%, respectivamente) y su textura más arenosa (73.2% vs 66.2 y 33.2%). En los sitios Tlapacoyan, Medellín y Cintalapa, la humedad aprovechable desde la siembra hasta la floración fue de 92.2, 90.5 y 82.4%, respectivamente; mientras que, hacia la etapa terminal del cultivo, los valores en los sitios respectivos fueron de 66.6, 30 y 32.5%.

La humedad aprovechable del suelo observada en los dos ciclos de producción, indican que en Medellín y en Ocozocoautla, en O-I de 2013 y en Medellín y Cintalapa en P-V de 2014, hubo condiciones de sequía terminal, ya que la humedad aprovechable del suelo fue menor a 45% durante la fase reproductiva del cultivo (Allen *et al.*, 2006), mientras que, en Tlapacoyan, esta condición de humedad sólo prevaleció a partir del final de la etapa de llenado de vainas en primavera-verano de 2014 (Figura 2), y que ésta no afectó el rendimiento de grano, se puede aseverar que en este sitio de evaluación, en ambos ciclos, prevalecieron condiciones de humedad que no causaron estrés hídrico a los genotipos de frijol.

Madurez fisiológica y rendimiento de grano

Se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes y genotipos, en condiciones de sequía terminal, sin sequía y en el análisis combinado de los seis ambientes de prueba. En Tlapacoyan en el ciclo otoño-invierno de 2013, la madurez fisiológica ocurrió en promedio a los 81 días después de la siembra (dds), tiempo significativamente más tardío, que en los otros sitios de evaluación (Cuadro 2), lo cual se debió principalmente a la disponibilidad de mayor humedad

durante el ciclo del cultivo (Figura 1), que favoreció una mayor duración del periodo reproductivo. En contraste, en los cuatro ambientes en que no se registraron lluvias durante la fase reproductiva del cultivo, la madurez ocurrió en promedio antes de los 71 dds (Cuadro 2), debido a la falta de humedad después de la etapa de floración del cultivo, lo que provocó un adelanto en la madurez fisiológica, que de acuerdo con Rosales-Serna *et al.* (2001), el aceleramiento de la madurez ocurre cuando la sequía se prolonga durante la fase reproductiva y no se presentan condiciones de humedad favorables para la recuperación.

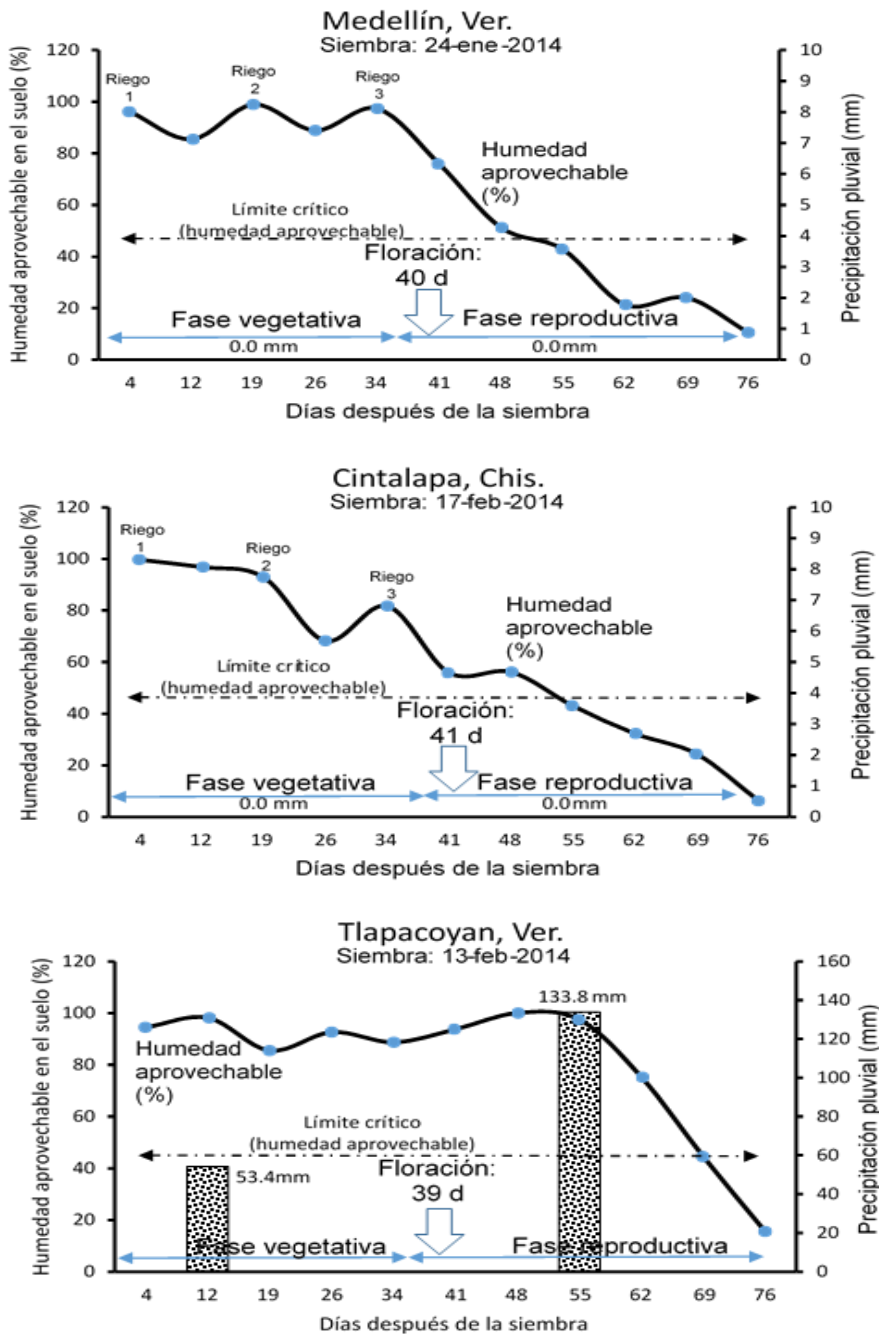


Figura 2. Precipitación pluvial ocurrida y humedad aprovechable del suelo en Cintalapa, Medellín y Tlapacoyan, durante el ciclo primavera-verano de 2014.

La variedad Verdín, junto con la línea SEN-56 fueron los genotipos más precoces en alcanzar su maduración, tanto en condiciones de sequía, como sin estrés por humedad, aunque bajo esta última condición, los genotipos mostraron menor precocidad, debido a una mayor y mejor distribución de la lluvia durante el ciclo del cultivo. En promedio de los seis ambientes de prueba, estos dos genotipos alcanzaron su madurez antes de los 69 dds, tiempo significativamente más corto que el de otras siete líneas y las variedades comerciales Negro Tacaná y Negro Jamapa (Cuadro 2). La precocidad de Verdín y SEN-56, se ha documentado en estudios de evaluación realizados en el estado de Veracruz (Tosquy *et al.*, 2014), la cual es importante para evitar la sequía terminal, ya que les permite a las plantas de frijol completar su ciclo y escapar a la sequía antes de que se presenten problemas críticos por falta de humedad (Acosta-Díaz *et al.*, 2004; 2011; Acosta-Gallegos y Kelly, 2012). A su vez, los genotipos con mayor número de días en llegar a madurez en condiciones limitadas de humedad, muestran menor productividad (Zilio *et al.*, 2013).

Cuadro 2. Días a madurez fisiológica de 13 genotipos de frijol negro en cuatro ambientes con sequía terminal y dos sin sequía, en Veracruz y Chiapas, México. Ciclos otoño-invierno de 2013 y primavera-verano de 2014.

Genotipo	Con sequía terminal				Promedio (d)	Sin sequía		Promedio (d)	Promedio general (d)
	Medellín (OI, 2013)	Ocozacoautla (OI, 2013)	Medellín (PV, 2014)	Cintalapa (PV, 2014)		Tlapacoyan (OI, 2013)	Tlapacoyan (PV, 2014)		
NGO 17-99	71.67*	70.33*	69	70*	70.25*	81.33*	73.33*	77.33*	72.61*
ELS 9-27	68.67*	69*	67	67.67*	68.08	82*	73.67*	77.83*	71.33
Jamapa Plus	70*	69.33*	71*	70*	70.08*	81.67*	74*	77.83*	72.67*
NGO 07022	71.67*	66	72.67*	70*	70.08*	81*	74.33*	77.67*	72.61*
CIAT-103-25	69.67*	69.33*	70.33	70*	69.83*	81*	72.67	76.83	72.17*
SEQ-344-21	70*	69.67*	71.67*	70*	70.33*	81.33*	74*	77.67*	72.78*
SCN-2	67	64	73*	63.33	66.83	80.67*	72	76.33	70
SEN-56	63.67	65	70.67	63.33	65.67	78	70	74	68.44
Verdín (SEN-70)	63	66	64	60.67	63.42	79	69.33	74.17	67
NCB-229	71.67*	64.67	72*	70*	69.58*	80.67*	74.33*	77.5*	72.22*
X02-33-153	69.67*	66.67	72.67*	70*	69.75*	81.33*	73*	77.17*	72.22*
N. Tacaná	71.67*	69.67*	73.67*	70*	71.25*	81.67*	73*	77.33*	73.28*
N. Jamapa	71.33*	69.67*	71.67*	70*	70.67*	82*	75*	78.5*	73.28*
Ambiente (d)	69.21	67.64	70.72	68.08		80.9*	72.97		71.59
ANVA	**	**	**	**	**	**	**	**	**
DMS 0.05	3.034	2.415	2.695	3.973	2.794	1.603	2.175	1.411	1.928

OI= ciclo otoño-invierno; PV= ciclo primavera-verano; **= diferencia altamente significativa; *= genotipos estadísticamente superiores, según la diferencia mínima significativa (0.05).

El rendimiento de grano mostró diferencia significativa ($p \leq 0.01$) entre ambientes y genotipos, en las dos condiciones de humedad y en el análisis conjunto de los seis ambientes de evaluación. Los promedios más altos se obtuvieron en Tlapacoyan, en ciclo otoño-invierno de 2013 y primavera-verano de 2014, los cuales fueron superiores a los obtenidos en los cuatro ambientes donde ocurrió sequía terminal (Cuadro 3). Lo anterior, se debió a que en Tlapacoyan, en ambos ciclos de producción, hubo adecuada distribución de lluvias, principalmente de las etapas de la floración al

llenado de vainas, periodo en el cual, el cultivo recibió 92 y 91.7 mm de precipitación pluvial en otoño-invierno de 2013 y primavera-verano de 2014, respectivamente, cantidades suficientes para el llenado de vainas (López *et al.*, 2008), así como también hubo mayor humedad aprovechable del suelo para las plantas de frijol (Figuras 1 y 2).

El menor rendimiento promedio se obtuvo en Ocozocoautla ciclo otoño-invierno de 2013 (Cuadro 3), debido a la severa sequía terminal y a que el suelo posee baja capacidad de retención de humedad, por su alto porcentaje de arena y bajo contenido de materia orgánica. Estas características del suelo implican baja humedad aprovechable para el cultivo, y en este caso la ocurrencia de sequía durante la etapa reproductiva del cultivo (Figura 1), afectó el rendimiento de grano (Acosta-Díaz *et al.*, 2009). En Medellín, en ambos ciclos de producción, se tuvo menor precipitación pluvial que en Ocozocoautla en otoño-invierno de 2013; no obstante, el rendimiento fue mayor, debido principalmente a que el suelo donde se estableció el ensayo es de vega de río, con alto contenido de materia orgánica y de textura franca, lo que le confiere una mayor capacidad de retención de humedad que el de Ocozocoautla.

Cuadro 3. Rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de 13 genotipos de frijol negro evaluados en cuatro ambientes con sequía terminal y dos sin sequía, en Veracruz y Chiapas, México. Ciclos otoño-invierno de 2013 y primavera-verano de 2014.

Genotipo	Con sequía terminal				Promedio (kg ha ⁻¹)	Sin sequía		Promedio (kg ha ⁻¹)	Promedio general (kg ha ⁻¹)
	Medellín (OI, 2013)	Ocozocoautla (OI-2013)	Medellín (PV-2014)	Cintalapa (PV-2014)		Tlapacoyan (OI-2013)	Tlapacoyan (PV-2014)		
NGO 17-99	1141.33*	622.67	1204.33*	1135.33*	1025.92*	1279.33*	1428.67	1354	1135.28*
ELS 9-27	719.67	510.67	771.33	991.67	748.33	998	1386.33	1192.17	896.28
Jamapa Plus	1218.33*	530.67	881.67	824.67	863.83	1263*	1176	1219.5	982.39
NGO 07022	1034*	624	899.67	1088.33	911.50	1329.33*	1191	1260.17	1027.72
CIAT-103-25	998	501.33	659.33	1113.33*	818	840	1218.33	1029.17	888.39
SEQ-344-21	1009.33	613.33	846.67	1082.67	888	885.67	1300	1092.83	956.28
SCN-2	1043.67*	625.33	950	1401.33*	1005.08*	1271.33*	1341	1306.17	1105.44*
SEN-56	1057.33*	606.67	1182.67*	804	912.67	1262*	1390	1326	1050.44
Verdín (SEN-70)	1253.33*	686.67	1139.67*	1407*	1121.67*	1427.33*	1709*	1568.17*	1270.5*
NCB-229	840.67	568	957	1178*	885.92	1241.33*	1139.33	1190.33	987.39
X02-33-153	1044.33*	538.67	840.33	693.33	779.17	1337*	1445.33	1391.17	983.17
N. Tacaná	747	468	713.33	1064.67	748.25	1199.67*	1470.67	1335.17	943.89
N. Jamapa	854.33	549.33	1024	738.33	791.5	1318*	924.33	1121.17	901.39
Ambiente (d)	997.02	572.72	928.46	1040.2		1204*	1316.92*		1009.89
ANVA	**	ns	**	**	**	**	**	**	**
DMS 0.05	224.744		167.961	318.319	205.268	281.167	145.992	154.469	171.886

OI= ciclo otoño-invierno; PV= ciclo primavera-verano; **= diferencia altamente significativa; ns= diferencia no significativa; *= genotipos estadísticamente superiores, según la diferencia mínima significativa (0.05).

La variedad Verdín, junto con las líneas NGO-17-99 y SCN-2, obtuvieron un rendimiento promedio significativamente sobresaliente en condiciones de sequía terminal, mientras que, sin presencia de sequía, Verdín fue la más productiva. Esta variedad obtuvo el mayor rendimiento

promedio de los seis ambientes de prueba, el cual fue estadísticamente similar al de NGO-17-99 y SCN-2 y superior a los del resto de los genotipos (Cuadro 3). De acuerdo a los parámetros de estabilidad, todos los genotipos fueron estables en su rendimiento; es decir, presentaron una baja interacción con los ambientes en los cuales se desarrollaron, ya que sus coeficientes de regresión y desviaciones de regresión fueron: $b_i = 1$ y $S^2_{di} = 0$ (Eberhart y Russell, 1966). La característica de estabilidad de las variedades comerciales Negro Tacaná y Negro Jamapa, ya había sido documentada con anterioridad (López *et al.*, 2001; 2007b).

Estos resultados indican que Verdín, NGO-17-99 y SCN-2 se adaptan a las condiciones ambientales del trópico húmedo de Veracruz y Chiapas y tienen mayor potencial de rendimiento que las variedades comerciales de uso actual en ambas entidades. Sin embargo, la línea NGO-17-99 tiene un ciclo de madurez significativamente más tardío que el de la variedad Verdín, mientras que el grano de la línea SCN-2, es de mayor tamaño (>25 g por 100 semillas) que el demandado por los productores y consumidores en los estados de Veracruz y Chiapas (López *et al.*, 2012). Por lo anterior, la nueva variedad Verdín, se considera superior.

La variedad Verdín, por sus características de precocidad y tolerancia a condiciones de estrés por humedad (Tosquy *et al.*, 2014; López *et al.*, 2015; Tosquy *et al.*, 2016a), le permitirá al productor disminuir riesgos de pérdida de rendimiento por periodos de sequía terminal, así como cosechar hasta 10 días antes que con otras variedades y obtener mayor rendimiento de grano, con y sin presencia de estrés por sequía terminal, que con las variedades Negro Jamapa y Negro Tacaná y otros materiales de uso común en Veracruz y Chiapas (Tosquy *et al.*, 2016b). Además, el grano de la variedad Verdín, reúne las características de tipo de frijol, negro, opaco y de tamaño pequeño (<25 g por 100 semillas), que demandan los consumidores en el sureste de México y su calidad tecnológica de grano (datos no mostrados), es similar al de la variedad Negro Jamapa (Tosquy *et al.*, 2016b).

Conclusiones

Las diferencias en disponibilidad de humedad durante la etapa reproductiva; a través, de las localidades de prueba afectó la respuesta productiva y la duración del ciclo de cultivo de los genotipos evaluados, a mayor estrés por sequía, menor rendimiento y ciclo más corto.

La variedad Verdín, junto con las líneas NGO-17-99 y SCN-2, obtuvieron un rendimiento promedio significativamente superior al resto de los genotipos en las localidades de prueba con condiciones de sequía terminal, mientras que, en las localidades sin presencia de sequía, Verdín fue la más productiva.

La variedad Verdín mostró un ciclo de cultivo más corto que el resto de los genotipos en evaluación, característica fenológica que en parte le permitió escapar a la sequía terminal.

Literatura citada

Acosta, D. E.; Acosta, G. J. A.; Trejo, L. C.; Padilla, R. J. S. y Amador, R. M. D. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Agric. Téc. Méx.* 35(4):416-425.

- Acosta, D. E.; Trejo, L. C.; Ruíz, P. L. M.; Padilla, R. J. S. y Acosta, G. J. A. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoam.* 22(1):49-58.
- Acosta, D. E.; Hernández, T. I.; Rodríguez, G. R.; Acosta, G. J. A.; Pedroza, F. J.; Amador, R. M. D. y Padilla, R. J. S. 2011. Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(2):249-263.
- Acosta, G. J. A. and Kelly, J. D. 2012. Strategies to improve adaptation of common bean to drought. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 55:7-8.
- Aguilera, C. M. y Martínez, E. R. 1980. Relaciones agua suelo planta atmósfera. 2a. ed. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México. 321 p.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje No. 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 298 p.
- Castañeda, S. M. C.; Córdova, T. L.; González, H. V. A.; Delgado, A. A.; Santacruz, V. A. Q. y García, de los S. G. 2006. Respuestas fisiológicas, rendimiento y calidad de semilla en frijol sometido a estrés hídrico. *Interciencia.* 31(6):461-466.
- Carballo, C. A. y Márquez, S. F. 1970. Comparación de variedades de maíz del Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia.* 5(1):129-146.
- Castellanos Z. J.; H. Guzmán, M.; A. Jiménez, C. Mejía, J. de J. Muñoz, R. J. A. Acosta, G.; G. Hoyos, E. López, S.; D. González, E.; R. Salinas, P.; J. González, A.; J. A. Muñoz, V.; P. Fernández, H.; B. Cáceres. 1997. Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 47(1):163-167.
- Díaz, P. G.; Ruiz, C. J. A.; Cano, G. M. A.; Serrano, A. V. y Medina, G. G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. Libro técnico núm. 13. 292 p.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6(1):36-40.
- Fernández, F.; Geps, P. y López, M. 1985. Etapas de desarrollo en la planta de frijol. *In:* López, M.; Fernández, F. y Schoonhoven, A. v. (Eds.). Frijol: investigación y producción. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 61-78 p.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- Florentino, A. 2006. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. *Venezuelos.* 14(1):48-70.
- Frahm, M.; Rosas, J. C.; Mayek, N.; López, E.; Acosta, J. A. y Kelly, J. D. 2003. Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. *Agron. Mesoam.* 14(2):143-150.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4^{ta}. (Ed.). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 130 p.
- Ghassemi, G. K. and Mardfar, R. A. 2008. Effects of limited irrigation and grain yield of common bean. *J. Plant Sci.* 3(3):230-235.
- Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.* 1:57-102.
- Hillel, D. 1980. Applications of soil physics. 1rd. ed. Academic Press. New York, USA. 385 p.
- López, E.; Becerra, N.; Cano, O.; Ortega, D. y Acosta, J. 1996. Adaptación y calidad tecnológica de la variedad de frijol Negro Tacaná. *Agron. Mesoam.* 7(1):26-34.

- López, S. E.; Durán, P. A.; Becerra, L. E. N.; Esqueda, E. V. A. y Cano, R. O. 1994. Manual de producción de frijol en el estado de Veracruz. SARH. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. Folleto para productores núm. 7. 29 p.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Acosta, G. J. A.; Villar, S. B. and Ugalde, A. F. J. 2011. Drought resistance of tropical dry black bean lines and cultivars. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14(2):749-755.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Jiménez, H. J.; Salinas, P. R. A.; Villar, S. B. y Acosta, G. J. A. 2012. Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol Negro Comapa, en dos regiones de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(4):309-315.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Ugalde, A. F. J. y Acosta, G. J. A. 2008. Rendimiento y tolerancia a sequía de genotipos de frijol negro en el estado de Veracruz. *Rev. Fitotec Mex.* 31(Núm. Esp. 3):35-39.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Acosta, G. J. A.; Rodríguez, R. J. R. y Meza, P. A. 2015. Rendimiento y estabilidad de líneas mejoradas de frijol negro en Veracruz y Chiapas, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 38(2):173-181.
- Mouhouche, B.; Ruget, F. and Delécolle, R. 1998. Effects of water stress applied at different phenological phases on yield components of dwarf bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomie, EDP Sciences.* 18(3):197-205.
- Muñoz, P. G.; Terán, H.; Allen, R.; Wright, J.; Westermann, D. and Singh, S. P. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci.* 46(5):2111-2120.
- Nielsen, D. and Nelson, N. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Sci.* 38(2):422-427.
- Nuñez, B. A.; Hoogenboom, G. and Scott, N. D. 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.).* 62(1):18-22.
- Rosales, S. R.; Acosta, G. J. A.; Muruaga, M. J. S.; Hernández, C. J. M.; Esquivel, E. G. y Pérez, H. P. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, México. Libro técnico núm. 6. 148 p.
- Rosales, S. R.; Ochoa, M. R. y Acosta, G. J. A. 2001. Fenología y rendimiento del frijol en el altiplano de México y su respuesta al fotoperiodo. *Agrociencia.* 35(5):513-523.
- Rosales, S. R.; Ramírez, V. P.; Acosta, G. J. A.; Castillo, G. F. y Kelly, J. D. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia.* 34(2):153-165.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT user's guide. Versión 8.0. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SAGARPA. 2015. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Anuarios estadísticos de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México, D. F. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Serrano, A. V.; Díaz, P. G.; López, L. A.; Cano, G. M. A.; Báez, G. A. D. y Garrido, R. E. R. 2006. Estadísticas climatológicas básicas de Chiapas (período 1961-2003). SAGARPA. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chis., México. Libro técnico núm. 1. 186 p.
- Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Becerra, L. E. N.; Esqueda, E. V. A. y Rodríguez, R. J. R. 2013. Reacción a mancha angular y productividad de genotipos de frijol con y sin aplicación de fungicidas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(1):167-174.
- Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Francisco, N. N.; Acosta, G. J. A. y Villar, S. B. 2014. Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(7):1205-1217.

- Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Villar, S. B.; Acosta, G. J. A. y Rodríguez, R. J. R. 2016a. Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7(7):1775-1780.
- Tosquy, V. O. H., López, S. E.; Villar, S. B.; Ibarra, P. F. J.; Rodríguez, R. J. R.; Acosta, G. J. A.; Anaya, L. J. L. y Garrido, R. E. R. 2016b. Verdín, variedad de frijol negro, precoz y tolerante a la sequía, para Veracruz y Chiapas. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Veracruz, México. Folleto técnico núm. 86. 32 p.
- Villar, S. B.; Garrido, R. E.; López, L. A. y Cruz, Ch. F. J. 2002. Manual para la producción de frijol en el estado de Chiapas. SAGARPA. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chis., México. Publicación especial núm. 1. 165 p.
- Zilio, M.; Arruda, C.; Medeiros, C. M.; Miquelluti, D. and Ferreira, A. 2013. Cycle, canopy architecture and yield of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris*) in Santa Catarina State, Brazil. Acta Sci. Agron. 35(1):21-30.