

**Evaluación del potencial agronómico del frijol  
tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo  
condiciones de estrés de sequía**

**Marlon Josué Rodríguez Rosales  
Juan Carlos Quezada Miranda**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Evaluación del potencial agronómico del frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo condiciones de estrés de sequía**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Marlon Josué Rodríguez Rosales**  
**Juan Carlos Quezada Miranda**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2016

## **Evaluación del potencial agronómico del frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo condiciones de estrés de sequía**

**Marlon Josué Rodríguez Rosales  
Juan Carlos Quezada Miranda**

**Resumen.** El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es susceptible a condiciones de sequía; sin embargo, el frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) es tolerante y se adapta a condiciones limitantes de estrés hídrico. El objetivo del estudio fue identificar líneas de tepari con características agronómicas deseables para su uso potencial como grano. Se evaluaron 20 líneas de tepari bajo condiciones de estrés de sequía mediante dos ensayos conducidos en Zamorano, Honduras. El primero se realizó en verano (enero-abril) utilizando tratamientos de estrés ( $\leq 150$  mm) y sin ( $\geq 300$  mm) estrés en el campo. Se utilizó un arreglo factorial de parcelas divididas, estrés en parcelas y líneas tepari en sub-parcelas, en un diseño de bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones. Se evaluaron el rendimiento, peso seco de 100 semillas (PSCS), índice de partición de vainas (IPV) e índice de cosecha (IC). El segundo ensayo se ejecutó en casa de malla (junio-septiembre), utilizando maceteros de 20 cm de diámetro  $\times$  37.5 cm de largo, con un sustrato suelo: compost 2:1. Los tratamientos y líneas estuvieron distribuidos en un arreglo factorial de parcelas divididas de un diseño BCA con cuatro repeticiones. Se evaluaron el peso seco de raíces (PSR) y follaje (PSF), número de raíces coronarias y adventicias, número y ángulo de raíces basales, longitud, área superficial, diámetro, y volumen radicular. En el campo, las líneas sin estrés de sequía presentaron valores superiores en el rendimiento y en el PSCS. Las líneas Tep 66, Tep 46 y Tep 65, presentaron los rendimientos más altos; y Tep 10, Tep 65 y Tep 64, obtuvieron los valores superiores para el IPV, IC y PSCS, respectivamente. En la interacción estrés  $\times$  genotipo, la línea Tep 65 fue la de mayor IC (0.84). En casa de malla, el genotipo Tep 53 presentó los mejores resultados para el PSF, longitud, área superficial, diámetro y volumen de la raíz.

**Palabras clave:** Características de raíces, casa de malla, rendimiento.

**Abstract.** The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is susceptible to drought conditions; however, the tepari bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) is tolerant and adapted to limiting conditions of water stress. The aim of the study was to identify tepari lines with desirable agronomic characteristics for potential use as a grain crop. Twenty tepari lines were evaluated under drought stress conditions in two trials conducted in Zamorano, Honduras. The first trial was conducted in the summer (January to April) season using drought stress ( $\leq 150$  mm) and no drought ( $\geq 300$  mm) stress treatments in the field. A split plot factorial arrangement, stress in plots and tepari lines in sub-plots, of a randomized complete block (RCB) design with three replications was used. Seed yield, 100 seeds dry weight (PSCS), pod partition (IPV) and harvest (IC) indexes were evaluated. The second trial was carried out at a screenhouse in the June-September season, using 8" pots containing a soil: compost (2:1) substrate. Stress treatments and tepari lines were distributed in a split plot factorial arrangement of a RCB with four replications. Root (PSR) and shoot (PSF) dry weights, number of coronary and adventitious roots, number and angle of basal roots, and root length, surface area and diameter were evaluated. In the field, the lines without drought stress had higher seed yield and PSCS. Tepari lines Tep 66 Tep 46 and Tep 65 presented highest yields; and Tep 10, Tep 65 and Tep 64 obtained higher values for IPV, IC and PSCS, respectively. Tep 65 had the greater IC (0.84) at the interaction stress x line. In the screen house trial, Tep 53 presented the best results for PSF and root length, surface area, diameter and volume.

**Keywords:** Root characteristics, screen house, seed yield.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	v
Índice de cuadros y figuras .....	vi
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>2</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>16</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>18</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Líneas de frijol tepari ( <i>Phaseolus acutifolius</i> ) evaluadas en el estudio. Zamorano, Honduras, 2016.....	2
2. Resultados del análisis de varianza del rendimiento, índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de 100 semillas (PSCS) de 20 líneas tepari con y sin estrés de sequía en campo. Zamorano, Honduras, 2016.	6
3. Rendimiento de semilla, índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de 100 semillas (PSCS) bajo condiciones de estrés y sin estrés de sequía en campo. Zamorano, Honduras. 2016.....	7
4. Efecto de las líneas tepari sobre el rendimiento, índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de 100 semillas (PSCS), bajo condiciones de estrés y sin estrés en campo. Zamorano, Honduras, 2016. ....	8
5. Resultados de análisis de varianza del número de coronas, raíces basales, ángulo de raíces basales (escala 1-9) y raíces adventicias de 20 líneas tepari cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.....	9
6. Evaluación visual de características de raíces, número de coronas, raíces basales, ángulo de las raíces basales (escala 1-9) y número de raíces adventicias de 20 líneas de frijol tepari ( <i>Phaseolus acutifolius</i> ) cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016. ....	10
7. Resultados de los análisis de varianza del peso seco del follaje (PSF) y raíz (PSR), longitud (LR), área superficial (ASR), diámetro promedio (DPR) y volumen (VR) de raíces de 20 líneas de tepari cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016. ....	12
8. Longitud (LR), área superficial (ASR), diámetro promedio (DPR) y volumen (VR) de raíces de 20 líneas de frijol tepari ( <i>Phaseolus acutifolius</i> ) cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.....	13
9. Peso seco del follaje (PSF) y peso seco de raíces (PSR) de 20 líneas de frijol tepari ( <i>Phaseolus acutifolius</i> ) cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.....	14
10. Efecto de las líneas sobre la longitud (LR), área superficial (ASR), diámetro promedio (DPR) y volumen (VR) de raíces de 20 líneas de frijol tepari ( <i>Phaseolus acutifolius</i> ) en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016. ....	15

Figuras	Página
1. Escala visual (1-9) para la evaluación de la variable ángulo de las raíces basales. ....	5
2. Comportamiento del índice de cosecha de 20 líneas de frijol tepari ( <i>Phaseolus acutifolius</i> ) en la interacción de los tratamientos estrés × línea en campo. Zamorano, Honduras, 2016.....	9
3. Variaciones en el comportamiento del ángulo de raíces basales (en escala 1-9) de 20 líneas de frijol tepari ( <i>Phaseolus acutifolius</i> ) por efectos de tratamientos con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.....	11

# 1. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas comestibles más importantes para consumo humano, su cultivo está distribuido en los cinco continentes y particularmente en América Latina, región en la que el grano es un componente indispensable en la base alimenticia de las personas, ya que complementa a los cereales como fuente de proteínas y minerales, y aporta el 45% de la producción mundial de los mismos (Voysset 2000).

El cultivo de frijol es altamente susceptible a condiciones de exceso de humedad y sequía, condiciones que influyen directamente en la disminución del rendimiento de los cultivos (Beebe *et al.* 2013). En América Latina, el 73% de la producción de frijol se da en regiones con déficit hídrico, que van desde moderadas hasta severas (Polón Pérez *et al.* 2014). En el caso de Honduras, alrededor del 60 al 70% del área total de producción es sembrada en la época de “postrera” (septiembre-octubre), en la cual los niveles de precipitación disminuyen a manera que el cultivo se acerca a la etapa reproductiva (Lardizábal *et al.* 2013). Según Acosta *et al.* (2007), la planta de frijol es expuesta a condiciones de sequía a partir de una reducción en un 50% de su requerimiento de agua.

Actualmente se han estado desarrollando y evaluando nuevas líneas de frijol que presentan tolerancia a la sequía para contrarrestar el efecto negativo de las variaciones climáticas. La utilización de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) para mejorar la tolerancia del frijol común a la sequía en Honduras ha sido sugerida por Rosas *et al.* (1991). Esta especie se caracteriza por tener un ciclo corto y presenta más tolerancia al calor y a la sequía que el frijol común, así mismo produce semillas con proteína de alta calidad adecuados para el consumo humano (Micheletto *et al.* 2007).

A partir de esto nace el interés de evaluar los parámetros productivos de las principales líneas de frijol tepari y determinar la viabilidad del uso del frijol tepari como alternativa potencial de producción de frijol para consumo en regiones con alta frecuencia de períodos de sequía que afectan a los cultivos.

Los objetivos de este estudio fueron determinar el comportamiento agronómico y el potencial de rendimiento de 20 líneas de frijol tepari bajo condiciones de estrés y sin estrés de sequía, e identificar las líneas superiores para su posterior evaluación en fincas de agricultores.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, localizada en el municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras. Específicamente en el Valle del Yegüare, a una altitud de 800 msnm, con una temperatura y precipitación promedio anual de 26°C y 1100 mm, respectivamente.

Se utilizaron 20 líneas avanzadas de frijol tepari desarrolladas por el “Tropical Agriculture Research Station” (TARS) del USDA/ARS de Puerto Rico (Cuadro 1). Se establecieron dos tratamientos; bajo condiciones de estrés ( $\leq 150$  mm) y sin estrés ( $\geq 300$  mm) de sequía. Se condujeron dos ensayos, el primero consistió en una evaluación a nivel de campo para describir el comportamiento agronómico y fisiológico de las líneas; y el segundo en casa de malla para evaluar las características radiculares de las líneas tepari bajo estrés de sequía.

Cuadro 1. Líneas de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) evaluadas en el estudio. Zamorano, Honduras, 2016.

No.	Línea	Pedigrí
1	G40001	G40001
2	Tep 10	PI 502217-s/Neb T-1-s
3	Tep 22	PI 502217-s/Neb T-1-s
4	Tep 32	PI 477033-s
5	Tep 4	Neb-T-1-s
6	Tep 46	Tep 22/PI 477033
7	Tep 47	Tep 22/PI 477033
8	Tep 49	Tep 22/PI 477033
9	Tep 50	Tep 22/PI 477033
10	Tep 51	Tep 23//Tep 22
11	Tep 52	Tep 32/Tep 22
12	Tep 53	Tep 32/GN-610-s
13	Tep 54	Neb-T-15-s/Tep 22
14	Tep 55	Neb-T-15-s/Tep 22
15	Tep 57	Neb-T-15-s/Tep 22
16	Tep 58	Neb-T-15-s/Tep 22
17	Tep 64	Tep 29/Tep 23
18	Tep 65	Tep 22/GN-610-s
19	Tep 66	Tep 22/Tep 19
20	Tep 69	TB1/Tep 32

**Ensayo 1. Evaluación del potencial agronómico de 20 líneas de frijol tepari influenciadas por estrés de sequía bajo condiciones de campo.**

**Ubicación y fecha.** El ensayo se estableció en el Lote 21, Zona II, durante los meses de enero a abril del 2016. La siembra se hizo el 30 de enero de 2016.

**Diseño Experimental.** Se utilizó un arreglo factorial de parcelas divididas en bloques completos al azar. Los tratamientos con estrés y sin estrés de sequía fueron distribuidos en parcelas y las líneas de frijol tepari en sub-parcelas con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por un surco de 3 m de largo, con distanciamientos a 0.7 m entre surcos y 0.1 m entre plantas (30 plantas/unidad experimental).

**Manejo Agronómico.** La parcela con fertilización recibió 130 kg·ha<sup>-1</sup> de 18-46-0 a la siembra y 65 kg·ha<sup>-1</sup> de Urea al aporque, a los 25 días después de siembra (DDS). El control de las malezas, insectos plagas y enfermedades fue el recomendado según Rosas (2003).

**Estrés de sequía.** El tratamiento de estrés de sequía se manejó dando el último riego a los 30 DDS con un total acumulado de lluvia y riegos suplementarios de 150 mm para obtener un estrés al 50% de los requerimientos de agua para el cultivo de frijol. La parcela sin estrés recibió 300 mm de riegos suplementarios hasta la madurez fisiológica (60 DDS).

**Muestreo y evaluación.** Al llenado de vainas (etapa R8), se cosecharon cinco plantas/parcela separando el tejido vegetativo del reproductivo para obtener el peso seco del follaje (PSF) y peso seco de las vainas (PSV), y se determinó el índice de partición de vainas (IPV) (Ecuación 1). El peso seco del follaje y vainas se obtuvieron colocando los tejidos en un horno a 70°C por 48 horas.

A la madurez de cosecha, se cosecharon 10 plantas/parcela, para posteriormente separar las semillas del follaje con el fin de determinar el índice de cosecha (IC) (Ecuación 2). Seguidamente, se determinó el peso seco de 100 semillas (PSS) y estimó el rendimiento en kg·ha<sup>-1</sup>, mediante la ecuación 3.

$$IPV = \frac{PSV}{PSF + PSV} \quad [1]$$

$$IC = \frac{PSS}{PSF + PSS} \quad [2]$$

$$Y = \frac{\text{Peso de SC (g)} + \left( \frac{\text{Densidad}}{\# \text{ de Plantas} * 1000} \right)}{\left( \frac{100\%}{100-14\%} \right)} \quad [3]$$

Semanalmente, se realizaron muestreos de humedad en el suelo, distribuidos aleatoriamente en cada una de las parcelas. En cada punto de muestreo se tomaron tres porciones de suelo a diferentes profundidades (20, 40 y 60 cm). Posteriormente, las muestras se secaron en un horno a 70°C por 48 horas para obtener el peso seco de las mismas, y estimar el porcentaje de humedad del suelo.

**Análisis estadístico.** Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico Statistix 8.1, con el cual se realizaron análisis de varianza y separación de medias usando el método de la diferencia mínima significativa (DMS) con una probabilidad de 0.05.

## **Ensayo 2. Evaluación de 20 líneas de frijol tepari influenciadas por estrés de sequía bajo condiciones de casa malla.**

**Ubicación y fecha.** Se realizó en el invernadero número 3 y en el laboratorio de Biotecnología Aplicada del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) durante los meses de junio a septiembre del 2016.

**Diseño Experimental.** Se utilizó un arreglo factorial de parcelas divididas en bloques completos al azar. Los tratamientos con estrés de sequía y sin estrés de sequía se distribuyeron en parcelas, y las líneas de tepari en las sub-parcelas, con cuatro repeticiones. Una unidad experimental estaba conformada de un macetero de 37.5 cm de alto × 20 cm de ancho con un sustrato de suelo: compost (2:1) con dos plantas por macetero.

**Siembra.** Las semillas fueron desinfectadas sumergiéndolas en soluciones de etanol al 70% durante 30 s y cloro al 5% durante 5 minutos, y finalmente lavadas con agua destilada. Posteriormente se pre-germinaron durante dos días en pliegos humedecidos de papel kraft, y luego se sembraron tres semillas por macetero. La siembra se llevó a cabo el 01 de junio.

**Manejo agronómico.** Las plantas fueron tutoradas a los 15 DDS con estacas de bambú de 1 m de longitud y 0.5 cm de diámetro. El tutorado consistió en rodear las guías de las plantas en la estaca y sostenerlas con “Twist-ems” que son tiras plásticas con alambre en el interior que le brinda sujeción al momento de amarrarlas a la estaca, quedando intermedio el tallo de la planta. Una semana después de la siembra se realizó un raleo en cada unidad experimental dejando las dos plantas que presentaron el mejor crecimiento.

**Estrés de sequía.** En el tratamiento de estrés de sequía se suspendió el riego a los 36 DDS; y el tratamiento sin estrés se siguió regando hasta los 44 DDS.

**Muestreo y evaluación.** A la floración, se hizo un corte en la base del tallo para separar la parte aérea del sistema radicular de la planta. Se procedió a picar el follaje y colocarlo en una bolsa de papel con el fin de secarlo al sol durante una semana y después colocarlas en un horno a 70°C por 48 horas. Las muestras se pesaron en una balanza electrónica para obtener el peso seco del follaje.

Para extraer las raíces, se sacaron los pilones de los maceteros sumergiéndolos primero en un recipiente lleno de agua con detergente para deshacer el pilón y extraer únicamente las raíces. Seguidamente, se lavaron las raíces en un recipiente con agua para eliminar el exceso de detergente. Por último, las raíces fueron almacenadas en frascos de vidrio con una solución de etanol al 30%.

El análisis de laboratorio fue dividido en dos partes: primero se evaluó de forma visual el desarrollo de los componentes de la raíz, y posteriormente, se realizó un análisis digital de las raíces empleando el programa WinRHIZO™. Para todas las variables medidas, se promediaron los valores de las dos raíces extraídas de cada macetero, con el fin de generar un único valor para cada unidad experimental.

**Evaluación visual de raíces.** Se cuantificó el número de coronas, número de raíces basales y ángulo, número de raíces adventicias. Para determinar el ángulo de las raíces se utilizó una escala de 1-9 ((Figura 1), la cual se distribuye de la siguiente forma según los grados de amplitud que formen las raíces: Escala 1 (0-18°), 3 (19-36°), 5 (37-54°), 7 (55-72°) y 9 (73-90°).

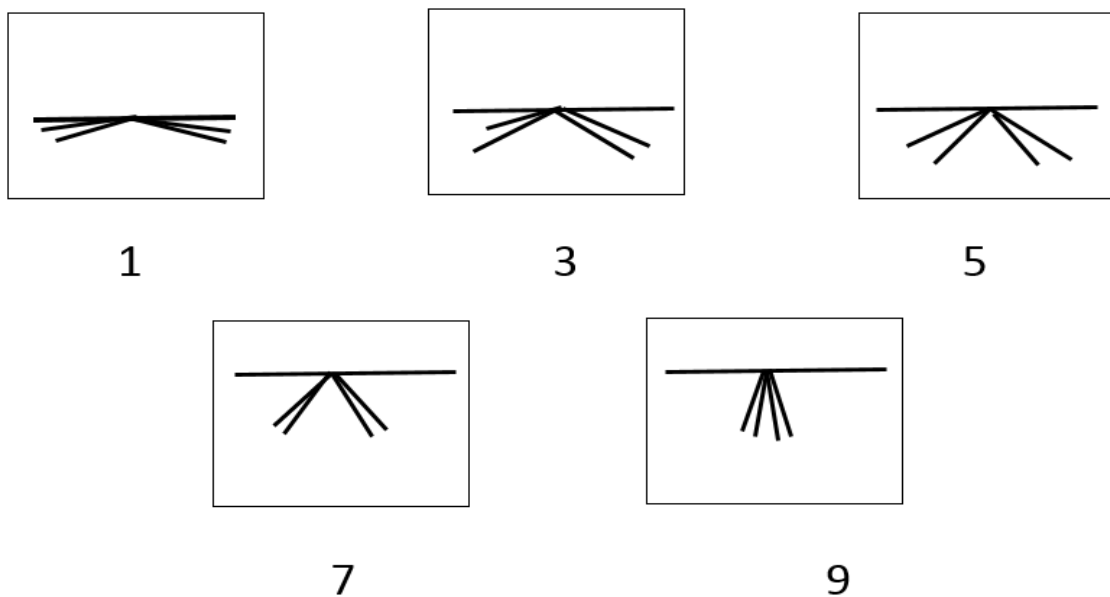


Figura 1. Escala visual (1-9) para la evaluación de la variable ángulo de raíces basales.

**Análisis digital utilizando la plataforma WinRHIZO™.** Las raíces fueron cortadas en segmentos no mayores de 15 cm de largo para luego colocarlas en bandejas plásticas transparentes con un nivel de agua que cubrió toda la superficie de la raíz. Las bandejas se colocaron en un escáner Epson® modelo “Perfection” V700 para digitalizar las raíces en formato jpg. Las imágenes de las raíces se ingresaron al programa WinRHIZO™, para medir las variables de longitud (m), área superficial (cm<sup>2</sup>), diámetro (mm) y volumen (cm<sup>3</sup>). Finalmente, las raíces se colocaron en bolsas de papel Kraft y fueron expuestas al sol durante una semana, para después secarlas en un horno a 70°C por 48 horas y obtener la variable peso seco de las raíces.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Ensayo 1. Evaluación del potencial agronómico de 20 líneas de frijol tepari influenciadas por estrés de sequía bajo condiciones de campo.

**Tratamientos.** Se encontraron diferencias significativas por efecto de tratamientos de estrés de sequía las variables rendimiento y PSCS; por efecto de líneas de tepari en rendimiento, IPV, IC y PSCS; y por efecto de la interacción estrés (E) x línea (L), solamente en el IC (cuadro 2). El rendimiento y PSCS sin estrés fueron significativamente mayores en el tratamiento sin estrés (Cuadro 3). La línea Tep 66 presentó los mayores rendimientos con y sin estrés; adicionalmente, la línea Tep 46 fue una de las mejores en rendimiento con estrés. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Galindo y Gallegos (2012), en un estudio realizado bajo condiciones similares a este estudio, en el cual obtuvieron un rendimiento de 1448 kg·ha<sup>-1</sup> y un PSCS de 12 g cumpliendo los requerimientos de riego del cultivo (351 mm). No obstante, en condiciones de estrés por sequía (246 mm) mostraron valores de 223 kg·ha<sup>-1</sup> y 13 g para rendimiento y PSCS respectivamente, siendo estos inferiores a los presentados en este estudio.

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza del rendimiento, índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de 100 semillas (PSCS) de 20 líneas tepari con y sin estrés de sequía en campo. Zamorano, Honduras, 2016.

Fuente de variación	Rendimiento (kg·ha <sup>-1</sup> )	IPV	IC	PSCS (g)
<u>Estrés de sequía</u>				
Con estrés	774	0.57	0.80	16.2
Sin estrés	1,582	0.60	0.78	17.4
Probabilidad	0.01**	0.12 <sup>n.s.</sup>	0.28 <sup>n.s.</sup>	0.01**
<u>Línea</u>				
Media	1,178	0.58	0.79	16.8
Probabilidad	0.01*	0.00**	0.02*	0.04*
<u>Estrés × Línea</u>				
Media	1,178	0.58	0.7929	16.791
Probabilidad	0.75 <sup>n.s.</sup>	0.74 <sup>n.s.</sup>	0.00**	0.85 <sup>n.s.</sup>

\*, \*\*, n.s.: Significativa (P≤0.05), altamente significativo (P≤0.01) y no significativo.

Cuadro 3. Rendimiento de semilla, índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de 100 semillas (PSCS) de 20 líneas tepari bajo condiciones de estrés y sin estrés de sequía en campo. Zamorano, Honduras. 2016.

Línea	Rendimiento (kg·ha <sup>-1</sup> )		IPV		IC		PSCS (g)	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
Tep 66	2051	1020	0.63	0.58	0.77	0.81	17.8	17.8
Tep 65	2008	891	0.54	0.59	0.80	0.84	15.1	13.7
Tep 47	1974	572	0.57	0.55	0.80	0.68	19.2	15.8
Tep 46	1946	1061	0.51	0.55	0.75	0.79	15.8	14.0
Tep 10	1881	884	0.67	0.63	0.81	0.80	16.7	15.3
Tep 49	1785	847	0.65	0.52	0.82	0.82	17.4	16.1
Tep 50	1729	930	0.59	0.51	0.80	0.81	18.5	18.5
Tep 4	1666	703	0.62	0.58	0.81	0.82	17.9	16.3
Tep 55	1661	599	0.63	0.60	0.82	0.79	17.4	16.9
G40001	1642	887	0.41	0.42	0.80	0.79	15.8	13.7
Tep 64	1554	706	0.63	0.56	0.78	0.80	21.5	17.2
Tep 57	1537	745	0.63	0.62	0.79	0.81	17.5	16.2
Tep 54	1401	691	0.59	0.57	0.81	0.79	17.2	18.0
Tep 58	1395	869	0.62	0.59	0.77	0.82	16.7	16.1
Tep 51	1366	882	0.64	0.63	0.77	0.83	17.3	18.1
Tep 69	1319	751	0.59	0.59	0.75	0.82	17.4	18.5
Tep 53	1264	601	0.58	0.60	0.81	0.80	18.5	15.6
Tep 22	1197	655	0.59	0.61	0.75	0.80	17.9	14.2
Tep 32	1186	723	0.62	0.61	0.72	0.82	16.2	16.3
Tep 52	1082	460	0.63	0.56	0.78	0.79	15.9	15.7
Promedio	1582	774	0.60	0.57	0.78	0.80	17.4	16.2
CV (%)	27.5	29.2	9.35	11.2	4.01	4.42	15.0	12.2
DMS (0.05)	355 <sup>n.s.</sup>	184 <sup>n.s.</sup>	0.05 <sup>**</sup>	0.05 <sup>n.s.</sup>	0.03 <sup>*</sup>	0.03 <sup>*</sup>	2.1 <sup>n.s.</sup>	1.6 <sup>n.s.</sup>

\*, \*\*, n.s.: Significativa ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo.

CV: Coeficiente de variación, DMS: Diferencia mínima significativa.

Se observaron diferencias significativas en el rendimiento, IPV, IC y PSCS debidos al efecto de las líneas (Cuadro 4), siendo la línea Tep 66 la que presentó el rendimiento más alto con una media de 1536 kg·ha<sup>-1</sup>. Aunque hubo diferencias significativas en el IPV e IC, los valores no fueron muy diferentes entre las líneas. Por otro lado, aunque si hubo efecto del estrés de sequía en el PSCS, las diferencias entre las líneas se deben principalmente a tamaño propio de cada línea.

Cuadro 4. Efecto de las líneas tepari sobre el rendimiento, índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de 100 semillas (PSCS), bajo condiciones de estrés y sin estrés en campo. Zamorano, Honduras, 2016.

Línea	Rendimiento (kg·ha <sup>-1</sup> )	IPV	IC	PSCS (g)
Tep 66	1536	0.61	0.79	17.8
Tep 46	1504	0.53	0.77	14.9
Tep 65	1449	0.56	0.82	14.4
Tep 10	1383	0.65	0.81	16.0
Tep 50	1330	0.55	0.81	18.5
Tep 49	1316	0.59	0.82	16.8
Tep 47	1273	0.56	0.74	17.5
G40001	1264	0.41	0.80	14.7
Tep 4	1185	0.60	0.82	17.1
Tep 57	1141	0.63	0.80	16.9
Tep 58	1132	0.61	0.79	16.4
Tep 55	1130	0.62	0.80	17.1
Tep 64	1130	0.60	0.79	19.3
Tep 51	1124	0.63	0.80	17.7
Tep 54	1046	0.58	0.80	17.6
Tep 69	1035	0.59	0.79	17.9
Tep 32	955	0.62	0.77	16.3
Tep 53	933	0.59	0.80	17.0
Tep 22	926	0.60	0.78	16.1
Tep 52	771	0.60	0.78	15.8
Promedio	1178	0.58	0.79	16.8
CV (%)	30.6	9.10	7.70	3.8
DMS (0.05)	200*	0.03**	0.02*	1.3*

\*, \*\*, n.s.: Significativa ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo.  
CV: Coeficiente de variación, DMS: Diferencia mínima significativa.

**Estrés × Líneas.** Sólo se encontraron diferencias significativas por efecto de la interacción E x L en el IC. El comportamiento de las líneas debidos a la interacción E x L para el IC, se puede observar en la Figura 2; la línea Tep 65 bajo el efecto de estrés fue superior con un índice de 0.84. Como se observa en la figura, la diferencia entre los IC de las líneas es menor bajo estrés de sequía.

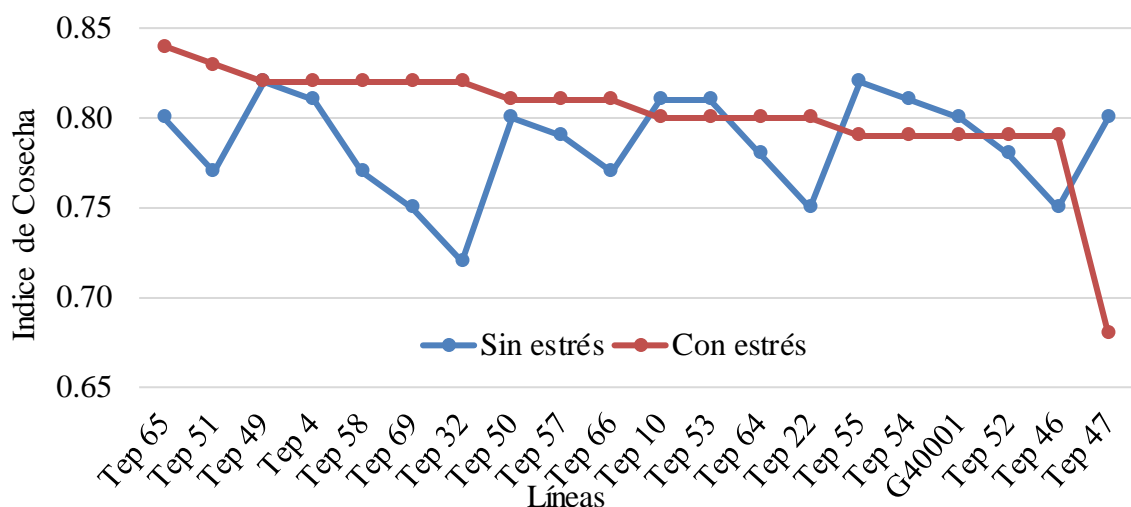


Figura 2. Comportamiento del índice de cosecha de 20 líneas de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) en la interacción de los tratamientos estrés  $\times$  línea en campo. Zamorano, Honduras, 2016.

**Ensayo 2. Evaluación de 20 líneas de frijol tepari influenciadas por estrés de sequía bajo condiciones de casa de malla.**

Los resultados de las evaluaciones visuales de las raíces de líneas tepari con y sin estrés de sequía, sólo presentaron diferencias significativas por efecto de los tratamientos de estrés en el ángulo de raíces basales; pero no hubo diferencias por efecto de las líneas ni por la interacción E  $\times$  L (cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados de análisis de varianza del número de coronas, raíces basales, ángulo de raíces basales (escala 1-9) y raíces adventicias de 20 líneas tepari cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Fuentes de Variación	No. Coronas	No. Raíces basales	Ángulo de raíces basales	No. Raíces adventicias
<u>Tratamiento</u>				
Con estrés	1.64	4.46	5.3	8.0
Sin estrés	1.53	3.78	4.0	7.3
Probabilidad	0.33 <sup>n.s.</sup>	0.05 <sup>n.s.</sup>	0.02*	0.25 <sup>n.s.</sup>
<u>Línea</u>				
Media	1.58	4.12	4.7	7.7
Probabilidad	0.19 <sup>n.s.</sup>	0.44 <sup>n.s.</sup>	0.11 <sup>n.s.</sup>	0.44 <sup>n.s.</sup>
<u>Estrés <math>\times</math> Línea</u>				
Media	1.58	4.12	4.7	7.7
Probabilidad	0.94 <sup>n.s.</sup>	0.27 <sup>n.s.</sup>	0.21 <sup>n.s.</sup>	0.82 <sup>n.s.</sup>

\*, \*\*, n.s.: Significativa ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo.

**Tratamientos.** Para el efecto del tratamiento estrés (E) no se presentaron diferencias significativas para el número de coronas, raíces basales y raíces adventicias. Para la variable ángulo de las raíces basales (medida mediante la escala 1-9) se observó diferencias significativas entre el tratamiento con estrés (5.3) y sin estrés (4.0). Así mismo, para esta misma variable, se observaron diferencias entre los valores de las líneas obtenidos en el tratamiento sin estrés.

Cuadro 6. Evaluación visual de características de raíces, número de coronas, raíces basales, ángulo de las raíces basales (escala 1-9) y número de raíces adventicias de 20 líneas de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Genotipo	No. coronas		No. Raíces Basales		Ángulo raíces basales		No. Raíces adventicias	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
Tep 66	1.13	1.5	3.88	3.63	5.25	6.75	5.63	9.38
Tep 22	1.75	1.88	3.75	4.75	2.88	6.50	8.63	6.50
Tep 10	1.88	1.75	4.63	5.00	2.63	6.50	7.88	9.50
Tep 65	1.38	1.13	2.63	3.00	5.75	6.00	4.00	5.63
Tep 49	1.50	1.88	3.38	5.63	3.00	5.75	7.50	7.38
Tep 58	1.63	1.75	3.25	5.00	3.00	5.75	7.00	7.25
Tep 4	1.50	1.50	4.25	3.88	4.25	5.50	8.13	11.8
Tep 64	1.88	2.00	5.38	4.88	4.75	5.50	7.13	7.25
Tep 32	1.75	1.88	4.50	5.38	5.03	5.25	7.25	5.38
Tep 51	1.00	1.25	2.75	3.38	3.75	5.25	10.6	8.50
Tep 53	1.50	1.75	3.00	5.10	2.50	5.25	6.50	7.73
Tep 46	1.75	1.88	3.88	5.13	4.00	5.25	7.75	6.75
Tep 69	1.75	1.50	4.38	3.38	4.25	5.00	7.38	8.88
Tep 47	1.13	1.63	2.75	4.25	4.75	5.00	8.38	8.75
Tep 50	1.25	1.63	3.63	5.13	4.25	5.00	7.00	7.75
Tep 55	1.38	1.88	3.25	5.25	5.25	4.50	10.0	8.38
Tep 57	1.75	1.75	4.25	3.88	4.25	4.50	6.50	8.00
Tep 54	1.63	1.35	3.50	3.68	3.75	4.48	7.88	9.45
Tep 52	1.38	1.38	4.13	4.13	3.00	4.25	6.13	9.00
G40001	1.63	1.63	4.50	4.75	4.25	4.00	5.38	7.25
Promedio	1.53	1.64	3.78	4.46	4.03	5.30	7.33	8.02
CV (%)	29.6	28.1	32.8	28.0	32.4	34.5	45.6	33.6
DMS (0.05)	0.32 <sup>n.s.</sup>	0.33 <sup>n.s.</sup>	0.88 <sup>n.s.</sup>	0.88 <sup>n.s.</sup>	0.92 <sup>*</sup>	1.29 <sup>n.s.</sup>	2.36 <sup>n.s.</sup>	1.91 <sup>n.s.</sup>

<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, n.s: Significativa ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo.  
CV: Coeficiente de variación, DMS: Diferencia mínima significativa.

En la figura 3 se observa el comportamiento de la variable ángulo de raíces basales de las líneas tepari para el efecto del tratamiento de estrés. Se observa que, bajo estrés de sequía, la tendencia es que el ángulo sea mayor sugiriendo raíces más verticales para profundizar más y adquirir agua en las partes más profundas del macetero. Se identificó que las líneas obtuvieron valores más altos en condiciones de estrés sin diferenciarse entre ellas. Para el caso del tratamiento sin estrés, se presentó diferencia significativa entre las líneas, siendo Tep 65 la que presentó el valor más alto con un ángulo de 5.75 ( $P \leq 0.05$ ).

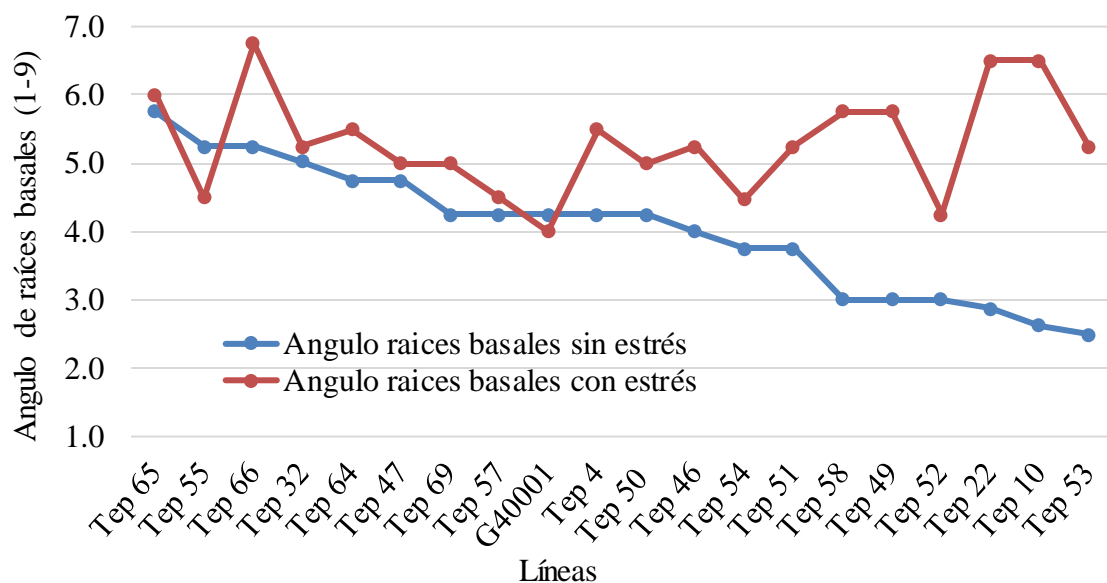


Figura 3. Variaciones en el comportamiento del ángulo de raíces basales (en escala 1-9) de 20 líneas de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) por efectos de tratamientos con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Para las variables evaluadas en el programa WinRHIZO™, el efecto del tratamiento de estrés presentó diferencias significativas en el peso seco del follaje (PSF), peso seco de raíces (PSR), longitud (LR), área superficial (ASR) y volumen radicular (VR); el diámetro promedio de raíces (DPR) fue la única variable que no presentó diferencias (Cuadro 7). El efecto debido a las líneas presentó diferencias en las variables anteriormente mencionadas a excepción del PSF y PSR. En la interacción entre las dos fuentes de variación (E y L) no se presentaron diferencias significativas en todas las variables evaluadas (cuadro 7).

Cuadro 7. Resultados de los análisis de varianza del peso seco del follaje (PSF) y raíz (PSR), longitud (LR), área superficial (ASR), diámetro promedio (DPR) y volumen (VR) de raíces de 20 líneas de tepari cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Fuentes de variación	PSF (g)	PSR (mg)	LR(m)	ASR (cm <sup>2</sup> )	DPR(mm)	VR (cm <sup>3</sup> )
<u>Estrés de sequía</u>						
Con estrés	13.7	761	68.2	563	0.86	3.8
Sin estrés	18.0	891	102.0	856	0.94	5.8
Probabilidad	0.00*	0.04**	0.04**	0.01*	0.40 <sup>n.s.</sup>	0.00*
<u>Línea</u>						
Media	15.9	826	85.1	710	0.90	4.8
Probabilidad	0.19 <sup>n.s.</sup>	0.07 <sup>n.s.</sup>	0.01*	0.01*	0.00*	0.01*
<u>Estrés x Línea</u>						
Media	15.9	826	85.1	710	0.90	4.8
Probabilidad	0.97 <sup>n.s.</sup>	0.29 <sup>n.s.</sup>	0.98 <sup>n.s.</sup>	0.98 <sup>n.s.</sup>	0.98 <sup>n.s.</sup>	0.96 <sup>n.s.</sup>

\*,\*\*, ns Significativa (P≤0.05), altamente significativo (P≤0.01) y no significativo.

**Tratamientos.** Se observó diferencia significativa en las variables peso seco de la raíz (PSR), peso seco del follaje (PSF), longitud (LR), área superficial (ASR) y volumen radicular (VR). En las cuales, las líneas obtuvieron mejores resultados con un comportamiento similar entre ellas en el tratamiento sin estrés (Cuadro 8 y 9). La variable diámetro promedio (DPR) se comportó de igual forma para los dos tratamientos, no obstante, dentro del tratamiento con estrés, la línea Tep 53 fue superior a las demás con un diámetro de 1.32 mm ( $P \leq 0.01$ ), mientras que las líneas Tep 58 y 65 mostraron los valores de diámetro más bajos.

Cuadro 8. Longitud (LR), área superficial (ASR), diámetro promedio (DPR) y volumen (VR) de raíces de 20 líneas de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Línea	LR (m)		ASR (cm <sup>2</sup> )		DPR (mm)		VR (cm <sup>3</sup> )	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
Tep 53	158.0	115.9	1325	969	1.24	1.32	8.93	6.49
Tep 46	94.4	88.9	808	711	0.92	1.01	5.62	4.55
Tep 66	119.6	76.5	950	627	0.98	0.83	6.04	4.12
Tep 69	116.3	76.4	964	620	1.05	0.86	6.39	4.03
Tep 4	77.8	76.2	665	611	0.91	0.89	4.57	3.91
Tep 50	102.3	71.5	854	596	0.98	0.89	5.81	3.97
Tep 52	91.2	68.6	731	580	0.80	0.81	4.68	3.92
Tep 64	108.6	68.5	950	571	1.04	0.79	6.70	3.81
Tep 47	89.7	68.3	737	567	0.81	0.89	4.86	3.76
Tep 49	105.9	67.0	848	541	0.96	0.83	5.44	3.49
Tep 51	98.6	64.9	788	532	0.89	0.82	5.04	3.48
Tep 32	90.3	62.1	763	512	0.87	0.79	5.16	3.36
Tep 22	98.3	61.8	853	502	0.93	0.88	5.92	3.28
G40001	94.7	59.5	878	529	1.10	1.03	6.52	3.76
Tep 65	88.0	58.7	733	492	0.74	0.70	4.91	3.30
Tep 57	106.5	58.5	861	484	0.86	0.75	5.61	3.21
Tep 10	99.9	57.2	834	462	0.96	0.81	5.58	2.98
Tep 55	101.5	56.2	872	481	0.91	0.85	6.03	3.30
Tep 58	95.0	54.6	837	463	0.90	0.71	5.98	3.14
Tep 54	104.1	53.5	880	423	0.89	0.75	5.96	2.67
Promedio	102.0	68.2	856	563	0.94	0.86	5.79	3.73
CV (%)	31.7	34.9	29.9	34.9	22.9	20.8	29.4	35.8
DMS (0.05)	22.9 <sup>n.s.</sup>	16.8 <sup>n.s.</sup>	181 <sup>n.s.</sup>	139 <sup>n.s.</sup>	0.15 <sup>n.s.</sup>	0.12*	1.20 <sup>n.s.</sup>	0.94 <sup>n.s.</sup>

\*, \*\*, n.s. Significativa ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo.

CV: Coeficiente de Variabilidad, DMS: Diferencia mínima significativa.

Cuadro 9. Peso seco del follaje (PSF) y peso seco de raíces (PSR) de 20 líneas de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) cultivadas con y sin estrés de sequía en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Línea	PSF (g)		PSR (mg)	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
Tep 53	21.2	16.3	985	746
Tep 46	21.0	14.5	1075	700
Tep 66	20.2	14.1	806	759
Tep 69	20.1	13.8	813	664
Tep 4	20.0	14.7	895	786
Tep 50	19.5	13.8	935	763
Tep 52	19.3	13.0	923	688
Tep 64	19.1	15.0	980	855
Tep 47	18.7	14.2	696	918
Tep 49	18.0	15.3	1053	879
Tep 51	17.8	13.7	865	847
Tep 32	17.6	12.3	760	782
Tep 22	17.5	14.8	707	813
G40001	17.0	15.6	1079	762
Tep 65	16.4	13.9	966	699
Tep 57	16.3	11.9	668	746
Tep 10	15.6	12.7	946	760
Tep 55	15.4	13.3	904	686
Tep 58	14.6	11.0	843	566
Tep 54	14.5	11.5	918	813
Promedio	18.0	13.7	891	761
CV (%)	22.0	17.2	25.2	21.9
DMS	2.8 <sup>n.s.</sup>	1.7 <sup>n.s.</sup>	159 <sup>n.s.</sup>	118 <sup>n.s.</sup>

n.s. no significativo, CV: Coeficiente de variación, DMS: Diferencia mínima significativa.

**Líneas.** No se encontraron diferencias significativas en las variables de peso seco del follaje (PSF) y el peso seco de las raíces (PSR). En el caso de la longitud, área superficial, diámetro y volumen, la línea Tep 53 obtuvo los valores más altos con medias de 150 m, 1225 cm<sup>2</sup>, 1.41 mm y 8.01 cm<sup>3</sup>, respectivamente ( $P \leq 0.05$ ). Para la longitud, área superficial y el volumen radicular, la línea Tep 4 presentó los valores más bajos con medias de 71 m, 568 cm<sup>2</sup> y 3.66 cm<sup>3</sup> respectivamente y la línea Tep 65, con un diámetro de 0.76 mm mostró el valor más bajo para esta variable (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de las líneas sobre la longitud (LR), área superficial (ASR), diámetro promedio (DPR) y volumen (VR) de raíces de 20 líneas de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) en casa de malla. Zamorano, Honduras, 2016.

Líneas	LR (m)	ASR (cm <sup>2</sup> )	DPR (mm)	VR (cm <sup>3</sup> )
Tep 53	150	1225	1.41	8.01
Tep 69	104	836	1.04	5.39
Tep 46	96	769	1.04	4.90
Tep 66	96	756	0.90	4.77
Tep 49	93	737	0.97	4.66
Tep 50	92	731	1.00	4.66
Tep 64	91	751	0.99	4.95
Tep 32	88	719	0.94	4.72
Tep 57	87	687	0.86	4.31
Tep 54	87	704	0.90	4.54
Tep 47	85	694	0.96	4.51
Tep 55	80	655	0.91	4.28
G40001	80	725	1.15	5.28
Tep 22	78	660	0.98	4.47
Tep 10	77	630	0.93	4.10
Tep 58	77	638	0.86	4.21
Tep 65	77	625	0.76	4.05
Tep 51	77	617	0.83	3.95
Tep 52	75	606	0.81	3.95
Tep 4	71	568	0.92	3.66
Media	88	717	0.96	4.67
CV (%)	33.0	33.0	20.30	33.1
DMS (0.05)	17*	136*	0.11**	0.89*

\*, \*\*, n.s. Significativa ( $P \leq 0.05$ ), altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) y no significativo.

CV: Coeficiente de variación, DMS: Diferencia mínima significativa.

## 4. CONCLUSIONES

- En el ensayo de campo se presentaron diferencias por efecto de los tratamientos de estrés de sequía (E) en el rendimiento y el peso seco de 100 semillas (PSCS); efectos de las líneas (L) en estas dos variables y en los índices de partición de vainas (IPV) y de cosecha (IC); y efectos de la interacción E×L solamente en el IC. Los rendimientos de las líneas Tep 66, 46 y 65 fueron los mejores, con y sin estrés de sequía, con medias de 1446, 1437 y 1337 kg•ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La línea Tep 65 presentó el valor más alto del IC (0.84) en el tratamiento con estrés de sequía.
- En las evaluaciones visuales de raíces en casa de malla, se presentaron diferencias por efecto del tratamiento de estrés en el ángulo de raíces basales; en los efectos de las líneas tepari y la interacción E × L no se presentaron diferencias en ninguna de las variables.
- En los pesos secos de follaje y de raíces y en las evaluaciones con el WinRHIZO™ de longitud, área superficial, diámetro promedio y volumen de raíces, se presentaron diferencias significativas por efecto de líneas, para el efecto tratamientos de estrés, el diámetro promedio fue la única variable en no presentar diferencias significativas. Así mismo, no hubo efecto de la interacción E x L en ninguna de las variables mencionadas.
- La línea Tep 53 presentó los valores más altos para las variables peso seco de follaje, longitud, área superficial, diámetro promedio y volumen de raíces.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Continuar evaluando las mejores líneas de tepari bajo condiciones de estrés de sequía y de altas temperaturas para medir el potencial agronómico bajo condiciones de estrés en zonas con mayor impacto del cambio climático (ej. Corredor seco de Centro América).
- Iniciar evaluaciones de la calidad culinaria, valor de consumo y nutricional de las líneas seleccionadas, como alternativa de producción y consumo familiar en zonas marginales.

## 6. LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz E, Amador-Ramírez MD, Padilla-Ramírez JS, Gómez-Delgado JP, Valadez-Montoya H. 2007. Biomasa y rendimiento de frijol tipo flor de junio bajo riego y sequía. *Agricultura Técnica en México*. 33(2):153–162.
- Beebe SE, Rao IM, Blair MW, Acosta-Gallegos JA. 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Front Physiol*. 4:35. ENG. doi:10.3389/fphys.2013.00035.
- Galindo JCJ, Gallegos JAA. 2012. Caracterización de genotipos criollos de frijol Tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) y común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(8):1565–1577. es. <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263124770007.pdf>.
- Lardizábal R, Arias S, Segura R. 2013. Manual de producción de frijol. Honduras: USAID. 27 p.
- Micheletto S, Rodriguez-Uribe L, Hernandez R, Richins RD, Curry J, O'Connell MA. 2007. Comparative transcript profiling in roots of *Phaseolus acutifolius* and *P. vulgaris* under water deficit stress. *Plant Science*. 173(5):510–520. doi:10.1016/j.plantsci.2007.08.003.
- Polón Pérez R, Miranda Caballero A, Ramírez Arrebato MA, Maqueira López LA. 2014. Efectos del estrés de agua sobre el rendimiento de granos en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 23(4):33–36.
- Rosas J. 2003. El cultivo del frijol común en América Tropical. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. 57 p.
- Rosas JC, Erazo JD, Moncada JR. 1991. Tolerancia a la sequía en germoplasma de frijol común y frijol tépari. *Ceiba*; [consultado 2016 Oct 20]. 32:91–105.
- Voysest O. 2000. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Legado de variedades de América Latina 1930-1999. Cali, Colombia: CIAT. xviii, 195 (CIAT publication; no. 321).