


Investigación Original

Comportamiento agronómico de germoplasma de frijol común en condiciones de altas temperaturas en el Sur de Honduras

Juan Carlos Rosas 

jrosas@zamorano.edu

Profesor Emérito Genética y Fitomejoramiento
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Escuela Agrícola Panamericana Zamorano
Honduras

Iveth Yassmin Rodriguez 

irodriguez@zamorano.edu

Asistente de Investigación
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Escuela Agrícola Panamericana Zamorano
Honduras

James Scott Beaver 

james.beaver@upr.edu

Profesor
Estación Experimental Agrícola Mayagüez
Universidad de Puerto Rico
Puerto Rico

Timothy G. Porch 

timothy.porch@usda.gov

Research Geneticist (Plants)
Agricultural Research Service- Tropical Agriculture Research Station USDA-ARS-TARS
Department of Agriculture (USDA)
Estados Unidos

Historial del artículo:

Recibido septiembre 5, 2022. Aceptado mayo 9, 2023. Publicado junio 30, 2023.

Cómo citar: Rosas, J.; Rodriguez, I.Y., Beaver, J. S., Porch, T. G. 2023. Comportamiento agronómico de germoplasma de frijol común en condiciones de altas temperaturas en el Sur de Honduras. Ceiba, 56(1), p. 31-49. doi: 10.5377/ceiba.v56i1.16354

Resumen. La producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en Centro América es amenazada por incrementos de temperatura, causados por el cambio climático y la expansión de la producción en áreas bajas y calurosas como en el Peten de Guatemala, costa norte de Honduras y el este de Nicaragua. La mayoría de las variedades tradicionales son afectadas por las altas temperaturas. Las variedades mejoradas liberadas en las décadas recientes están mejor adaptadas a condiciones más calurosas en las zonas bajas tropicales, pero con el tiempo pueden ser afectadas debido a continuos incrementos de temperatura. El objetivo fue identificar líneas tolerantes a altas temperaturas con comportamiento agronómico y valor comercial deseables, para ser liberadas como variedades o utilizadas en programas de mejoramiento. Trescientos doce accesiones de germoplasma y líneas mejoradas de frijol común fueron evaluadas en ensayos conducidos en diferentes épocas de siembra del 2015-16 en la localidad

de Nacaome, sur de Honduras, donde predominan altas temperaturas diurnas (>36 °C) y nocturnas (>24 °C) durante todo el año. Se identificaron líneas de frijol común con tolerancia a las altas temperaturas, incluyendo la accesión andina ‘Indeterminant Jamaica Red’, las líneas mesoamericanas USMR20, SJC 730-79, MER 2212-28, ‘Beniquez’, SB-DT1, PR9920-171 y FBN 1211-66, y la línea interespecífica INB 841. La mejor adaptación fue observada en las líneas de frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) usadas como testigos tolerantes. Entre las líneas de frijol común tolerantes al calor con buena adaptación agronómica y rendimiento de semilla, se incluyen algunas liberadas como variedades o utilizadas en el mejoramiento del cultivo.

Palabras Clave: accesiones de germoplasma, frijol tépari, *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus acutifolius* A. Gray, tolerancia al calor.

Agronomic performance of common bean germplasm under high temperatures conditions in southern Honduras

Abstract. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production in Central America is threatened by increases in temperature caused by climate change and by expansion of common bean production into lowland, higher temperature areas like the Peten region in Guatemala, north coast of Honduras and Eastern Nicaragua. Most traditional bean cultivars are affected by high temperatures. Improved cultivars released during the past decades are better adapted to warmer temperature conditions in tropical lowlands, but over time could be affected due to continued increases in temperature. The objective was to identify bean accessions tolerant to high temperatures with desirable agronomic performance and commercial seed types for their release as cultivars or their use as parents in breeding programs. Three hundred twelve common bean germplasm accessions and improved lines were evaluated in trials conducted in different planting seasons during 2015-16 in Nacaome, a location in southern Honduras where high day (>36 °C) and night (>24 °C) temperatures are predominant year around. Heat tolerant bean lines were identified including the Andean landrace ‘Indeterminant Jamaica Red’, the Mesoamerican lines USMR20, SJC 730-79, MER 2212-28, ‘Beniquez’, SB-DT1, PR 9920-171 and FBN 1211-66, and the interspecific line INB 841. The greatest adaptation to high temperatures was observed in tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) lines used as tolerant checks. Among the common bean heat tolerant lines with good agronomic adaptation and seed yield, some lines have been released as cultivars or used as parents in breeding programs.

Keywords: germplasm accessions, heat tolerance, *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus acutifolius* A. Gray, tepary bean.

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la principal fuente de proteína vegetal para miles de pobladores de las zonas rurales y urbanas de bajos ingresos de Centro América y del Caribe, consumido principalmente con cereales, como maíz o arroz. Este grano básico es cultivado mayormente por pequeños agricultores en fincas de <5 ha bajo condiciones

limitantes de suelo en zonas marginales y de ladera, uso de insumos y acceso a sistemas de riego y otras innovaciones tecnológicas (Rosas 2013; Rosas 2020).

La producción de frijol común en Centro América es amenazada por variaciones climáticas en las que predominan períodos frecuentes de sequía e incrementos de temperatura en las épocas de siembra

tradicionales y la expansión de la producción en zonas bajas con temperaturas altas ($>30^{\circ}\text{C}$) como en el Peten de Guatemala y el este de Nicaragua. Varios estudios identifican a Centro América y El Caribe, como las regiones más vulnerables a nivel mundial, debido a los efectos del cambio climático en la agricultura y los ecosistemas (Beebe *et al.* 2012; Hannah *et al.* 2013; Gotlieb *et al.* 2019).

Debido a la dependencia económica en la agricultura y la prevalencia de la pobreza, Centro América es susceptible a los impactos de las altas temperaturas y la sequía; siendo la región del “corredor seco Centroamericano” una de la más afectadas por el cambio climático a nivel mundial (Hannah *et al.* 2013; Gotlieb *et al.* 2019). Las zonas bajas de Centro América son una de las regiones donde el frijol común es cultivado en el extremo del rango de adaptación a temperatura y en el futuro podría sufrir pérdidas significativas debido a los incrementos en temperatura (Yadav *et al.* 2011; Beebe *et al.* 2012).

Bajo este contexto, el desarrollo de variedades de frijol común tolerantes a estreses abióticos resulta ser un enfoque clave para la adaptación al cambio climático (Beaver *et al.* 2003; Beebe *et al.* 2012; Porch *et al.* 2013; Rosas *et al.* 2019). Este esfuerzo requiere de la evaluación de un grupo amplio de accesiones de germoplasma bajo condiciones de altas temperaturas para identificar líneas con tolerancia a este estrés, seguido de un proceso de recombinación genética con fuentes de otros caracteres agronómicos y de consumo deseables (Rosas *et al.* 2000; Beaver *et al.* 2003).

Como resultado de su origen en altitudes intermedia- alta (>1000 m.s.n.m.), el frijol común es generalmente sensible a las altas temperaturas, siendo las variedades tradicionales o criollas las más afectadas, ya que están mejor adaptadas a condiciones favorables de temperatura promedio de 18 a 24°C (Masaya & White 1991; Porch & Jahn 2001). Debido a

esto, en Centro América y El Caribe su cultivo se conduce mayormente en zonas relativamente bajas a intermedias (400 a 1000 msnm) (Rosas *et al.* 2000); y en épocas de siembra en las que se presentan temperaturas adecuadas para el desarrollo reproductivo del cultivo.

Las altas temperaturas pueden interferir con el desarrollo reproductivo y reducir el rendimiento de semilla en genotipos de frijol común sensibles al calor (Porch & Jahn 2001), especialmente en las etapas reproductivas en las que causa abscisión de botones, flores y vainas (Monterroso & Wein 1990; Konsens *et al.* 1991). Porch *et al.* (2007) demostraron la sensibilidad del frijol común al estrés de las altas temperaturas en Honduras, pero también el beneficio potencial que representan las variedades adaptadas al calor bajo los escenarios proyectados de cambio climático.

De acuerdo con Rainey & Griffiths (2005), Barrios-Gomez *et al.* (2011) y Beebe *et al.* (2012), temperaturas $>30^{\circ}\text{C}$ durante el día y $>20^{\circ}\text{C}$ durante la noche pueden reducir el rendimiento de semilla del frijol común, sobre todo en condiciones de baja humedad relativa debido a mayor demanda de agua por la transpiración de las plantas. Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto (2017), mencionan que el rango óptimo de temperatura del frijol común es de 15 a 27°C , siendo el umbral mínimo de 10°C y el máximo de 34°C .

Teniendo en cuenta las referencias mencionadas, la evaluación de un grupo de accesiones de germoplasma muy diverso bajo condiciones de altas temperaturas, en un invernadero con temperatura controlada o en una localidad donde no es factible obtener rendimientos aceptables con variedades tradicionales debido a las altas temperaturas, se presentan condiciones experimentales favorables para identificar accesiones tolerantes a este factor abiótico limitante de la producción de frijol común (Rosas *et al.* 2000; Rainey &

Griffiths 2005; Centro Internacional de Agricultura Tropical 2015; Traub et al. 2018).

Además de los factores abióticos, la producción y la calidad del grano del frijol común en Centro América es afectada por varias enfermedades, incluyendo el virus del mosaico común de frijol, virus del mosaico común necrótico de frijol y el virus del mosaico dorado amarillo de frijol, antracnosis causada por *Colletotrichum lindemuthianum*, bacteriosis común por *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, mancha angular por *Pseudocercospora griseola*, mustia hilachosa por *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk (anamorph: *Rhizoctonia solani* Kühn), y roya por *Uromyces appendiculatus* (Beaver et al. 2003).

El incremento de las temperaturas puede ofrecer condiciones más favorables para la incidencia y daños mayores de algunas de estas enfermedades. Así mismo, el incremento en la incidencia de la pudrición gris del tallo, causada por *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid, que afecta las raíces y la base del tallo, puede llegar a ser una enfermedad importante en Centro América debido a la mayor frecuencia de períodos secos y temperaturas más altas (Mayek-Pérez et al. 2001). El cultivo de frijol común también es afectado por insectos-plagas como la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius), lorito verde (*Empoasca kraemeri* Ross y Moore), picudo de la vaina (*Trichapion godmani* Wagner), el gorgojo común (*Acanthoscelides obtectus* Say) y el gorgojo mexicano (*Zabrotes subfasciatus* Boheman), que reducen la producción en el campo y afectan la calidad del grano almacenado.

Las evaluaciones de germoplasma y el desarrollo de variedades de frijol tolerantes a las altas temperaturas en Centro América han sido conducidas desde la década de los años 90 (Rosas et al. 2000). Estas actividades permitieron la posterior liberación de variedades de frijol común de grano rojo con

mayor tolerancia al calor y mejor adaptación a zonas bajas de Centro América y El Caribe, incluyendo a las variedades Tío Canela 75 (Rosas et al. 1997), Amadeus 77 (Rosas et al. 2004) y CENTA Pipil (Rosas et al. 2013), de acuerdo con Rosas et al. (2020). Las variedades mejoradas liberadas en las dos últimas décadas están mejor adaptadas a las condiciones más calurosas en las zonas bajas tropicales, sin embargo, con el tiempo pueden ser afectadas debido a las predicciones de incrementos de la temperatura en la mayoría de las zonas productoras de frijol en Centro América.

En la década del 2010-20 se desarrollaron un número significativo de variedades y líneas mejoradas de frijol común con resistencia a enfermedades y tolerancia a las altas temperaturas y otros estreses abióticos (Rosas et al. 2020; Beaver et al. 2021). Sin embargo, en algunos países, la falta de sistemas de producción de semilla de calidad que garanticen la disponibilidad y el acceso a semillas de estas variedades tolerantes para la mayoría de los productores de frijol común, inciden en la baja adopción y en el impacto potencial que pudiera resultar del uso de estas variedades.

Asimismo, es importante considerar los adelantos obtenidos en el desarrollo de progenitores puentes para facilitar la hibridación de frijol común y frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) sin utilizar el rescate de embriones (Barrera et al. 2018). Esta técnica permitiría la transferencia de caracteres útiles de frijol tépari como la tolerancia a la sequía y altas temperaturas (Porch et al. 2013), resistencia a algunas enfermedades que afectan al frijol común como la bacteriosis común (Singh & Miklas 2015), y a plagas de almacén como el gorgojo común del frijol (*Acanthoscelides obtectus*) (Kusolwa & Myers 2011).

El objetivo del presente estudio fue identificar líneas de frijol común tolerantes a

altas temperaturas con comportamiento agronómico y valor comercial deseables para ser liberadas como variedades o para ser utilizadas como progenitores en programas de mejoramiento genético.

Métodos

Se condujeron dos ensayos denominados Evaluación de la Adaptación de Líneas de Frijol a Estreses Abióticos (BASE, por sus siglas en inglés) (Oladzad *et al.* 2019; Beaver *et al.* 2021) y tres ensayos ERSAT (Ensayo Regional de Líneas de Frijol Tolerantes a Altas Temperaturas), durante el periodo de febrero 2015 a noviembre 2016, en la Escuela Técnica Agrícola 'Luís Landa', ubicada a 44 m.s.n.m. en el municipio de Nacaome, departamento de Valle, en el sur de Honduras, 13°32'00" LN y 87°29'00" LO. En esta localidad, la temporada de lluvia entre los meses de mayo y octubre es muy caliente, opresiva y nublada y la temporada seca entre los meses de enero y abril es tórrida, bochornosa y mayormente despejada.

De acuerdo con Holdridge (1982), Nacaome está ubicada en una zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). Durante el transcurso del año, la temperatura en Nacaome generalmente varía de 24 °C a 37 °C y rara vez baja a menos de 21 °C o sube a más de 39 °C (Weather Spark 2021). Debido a que en la localidad de Nacaome predominan las altas temperaturas diurnas y nocturnas, se presentan condiciones deseables para identificar la tolerancia al calor de un grupo selecto de líneas de frijol común, con capacidad para un crecimiento y productividad agronómica y económicamente deseable bajo estas condiciones (Wahid *et al.* 2007).

Se evaluaron 312 accesiones de germoplasma incluyendo variedades comerciales y líneas mejoradas procedentes de varios programas de investigación en frijol común para determinar su comportamiento

agronómico y rendimiento de grano bajo condiciones de altas temperaturas. En los ensayos se incluyeron accesiones de germoplasma y líneas mejoradas de frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) como testigos de referencia, debido a su mejor adaptación a condiciones de estrés de sequía y altas temperaturas que el frijol común (Porch *et al.* 2009; Beebe *et al.* 2013; Porch *et al.* 2013).

El ensayo BASE-2014 fue conducido en la época de siembra de verano (febrero) del 2015, y estuvo conformado por 120 líneas de frijol común incluyendo 19 andinas, 80 mesoamericanas, cuatro de frijol tépari, 13 interespecíficas (*P. vulgaris* x *P. acutifolius*) y cuatro variedades testigos, dos andinas (ICA Calima e ICA Quimbaya) y dos mesoamericanas (Amadeus 77 y DOR 390), procedentes de los programas de mejoramiento de frijol común del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Universidad de Puerto Rico (UPR), la Estación de Investigación de Agricultura Tropical del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-ARS-TARS, por sus siglas en inglés) de Mayagüez, Puerto Rico, y del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) de la Universidad Zamorano, Honduras.

El ensayo BASE-2015 fue conducido en la época de siembra de postrera (octubre) del 2016, y estuvo conformado por 120 líneas incluyendo una andina, 109 mesoamericanas, dos de frijol tépari, cuatro interespecíficas y los cuatro testigos del ensayo anterior. Ambos ensayos BASE fueron conducidos en camas de 50 cm de alto, 1.5 m de ancho y 2.5 m de largo, sembradas con dos hileras distanciadas a 40 cm entre ellas y 10 cm entre plantas, y conteniendo un total de 50 plantas por unidad experimental. Se utilizó un diseño experimental látice 10 x 12 con tres repeticiones.

Un total de tres ensayos ERSAT fueron conducidos en diversas épocas de siembra del 2015-16 en la localidad de Nacaome, Honduras,

utilizando unidades experimentales y distanciamientos de siembra similares a las descritas para los ensayos BASE, y empleando un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. En la época de siembra de primera (junio) del 2015, se evaluó el ensayo ERSAT-1 conformado por 24 líneas seleccionadas del ensayo BASE-2014 y de tres ensayos que incluyeron líneas de frijol común de grano rojo y negro del CIAT, UPR, USDA y Zamorano. Además del ensayo ERSAT-1, en la época de siembra de primera (junio) del 2015 se evaluaron siete ensayos regionales de grano rojo y negro de la Red de Frijol de Centro América y El Caribe (Rosas, 2013), incluyendo el ECAR (Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento), COVA (Ensayo de Comprobación de Variedades), ERMAN (Ensayo Regional de Líneas de Frijol Resistentes a la Mancha Angular), ERFBN (Ensayo Regional de Fijación Biológica de Nitrógeno en Frijol) y AGROSALUD (Ensayo Regional de Líneas de Frijol con Alto Valor Nutricional).

El ensayo ERSAT-2 sembrado en la postrera (octubre) del 2015 y verano (febrero) del 2016, estuvo conformado por líneas seleccionadas de los ensayos conducidos en Nacaome durante la época de siembra de primera (junio) del 2015, incluyendo a cuatro líneas de frijol común del ensayo ERSAT-1, ocho del ECAR de grano negro, cuatro del COVA de grano rojo, dos del ERMAN, una del ERFBN y una del AGROSALUD, y cuatro testigos, Amadeus 77, DOR 390, USMR 20 y la línea de frijol tépari TARS-Tep 22.

El ensayo ERSAT-3 fue evaluado en Nacaome en las épocas de primera (junio) y postrera (noviembre) del 2016, y estuvo conformado por 15 líneas seleccionadas del ensayo BASE-2015 y cinco del ensayo ERSAT-2, y los testigos Amadeus 77, DOR 390, USMR 20 y la línea de frijol tépari TARS-Tep 22.

Los ensayos BASE y ERSAT se condujeron en parcelas experimentales de la Escuela Técnica Agrícola “Luís Landa” en Nacaome, Honduras, en un suelo tipo Eutric Cambisol, según Brito y Sarmiento (2012) con base en la nomenclatura de FAO WRB (2006-10), de textura franca a franco-arenosa, pH 6.5-6.9, materia orgánica 2.2-2.4 y N total 0.11-0.15 g 100 g⁻¹, y P 40-51, K 410-440, Ca 3,800-4,200, Mg 550-670 y Na 43-59 mg kg⁻¹ (extractable). El manejo agronómico de los ensayos incluyó una fertilización a la siembra con 130 kg ha⁻¹ de 18-46-0 (N-P-K), aplicación de fertilizante foliar 20-20-20 con micronutrientes a los 21 días después de la siembra (DDS), y 60 kg ha⁻¹ de Urea (46% N) a los 30-32 DDS (etapa R5- prefloración).

En los ensayos BASE y ERSAT, las malezas se controlaron con aplicaciones del herbicida pre-emergente glifosato, 3-4 días antes de la siembra, y una mezcla de los herbicidas post-emergentes fomesafen y fluazifop-p-butyl, para el control de malezas de hoja ancha y gramíneas, respectivamente, aplicados a los 30-32 DDS. En algunos ensayos fue necesario complementar el control de malezas con 1-2 deshierbas manuales. Los ataques de mosca blanca, *Empoasca* sp. y *Diabrotica* sp., fueron controlados con aplicaciones de los insecticidas tiametoxam o tiametoxam + lambda-cialotrina, a partir de la etapa de desarrollo V3 (primera hoja trifoliada) hasta la R7 (formación de vainas), dependiendo de las poblaciones y los daños potenciales.

Las enfermedades fungosas de la mancha angular y mustia hilachosa fueron controladas con aplicaciones del fungicida azoxistrobina, desde la etapa V3 (primera hoja trifoliada) hasta la R8 (llenado de vainas), dependiendo de la incidencia y severidad de las enfermedades. Para el manejo de los requerimientos hídricos en los ensayos BASE y ERSAT, se utilizó un sistema de riego por goteo para complementar las precipitaciones en las épocas de siembra de primera y postrera, y para

proveer la totalidad de los requerimientos hídricos de las plantas en las siembras de verano. Las cantidades de agua provenientes de las precipitaciones y las aplicaciones de riego por goteo en los ensayos varió de 300 a 350 mm, desde la siembra hasta la madurez fisiológica.

Las principales variables medidas durante los ensayos incluyeron los días a floración y días a madurez fisiológica, peso seco de biomasa (PSB) y de vainas (PSV) en la etapa de desarrollo R8 (llenado de vainas); y el PSV, peso seco de semillas (PSS), rendimiento de semilla expresado en kg ha^{-1} al 14% de humedad, y el peso seco de 100 semillas a la madurez de cosecha (MC). Adicionalmente, se calcularon el índice de partición de vainas [$\text{IPV} = \text{PSV-R8} / (\text{PSB} + \text{PSV-R8})$] e índice de cosecha de vainas [$\text{ICV} = \text{PSS-MC} / (\text{PSV-MC} + \text{PSS-MC})$], según Beebe *et al.* (2013) y Polanía *et al.* (2016). También se estimó la media geométrica (MG) del rendimiento de semilla en los ensayos ERSAT-2 y ERSAT-3, mediante la ecuación $\text{MG} = (\text{R1} \times \text{R2})^{1/2}$, donde R1 fue el rendimiento de semilla del primer ensayo y R2 del segundo ensayo sembrados en diferentes épocas de siembra.

Los datos colectados de las variables evaluadas en los ensayos BASE y ERSAT fueron analizados mediante análisis de varianza,

y las comparaciones de medias mediante la prueba de diferencia mínima significativa con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación entre el rendimiento de grano y algunas variables evaluadas en los ensayos mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Para los análisis se utilizó el paquete estadístico *Infostat versión 2020p*.

Resultados

En los ensayos conducidos para evaluar la tolerancia del frijol común a las altas temperaturas en Nacaome, Honduras, se registraron altas temperaturas diurnas y nocturnas en las seis épocas de siembra del 2015-16, y la temperatura máxima promedio fue de $38.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (rango 32.1 a $43.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la mínima promedio de $22.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (rango 18.3 a $26.9\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Cuadro 1). Durante los ensayos conducidos en la localidad de Nacaome en seis épocas de siembra, las temperaturas máximas y mínimas fueron registradas con sensores *iButtons*®. Los promedios de temperaturas máximas y mínimas más altos se registraron en las épocas de verano del 2015 (39.1 y $24.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) y primera del 2016 (39.3 y $23.3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Asimismo, temperaturas máximas $>40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mínimas $>25\text{ }^{\circ}\text{C}$ se registraron en todas las épocas de siembras.

Cuadro 1. Promedios y rangos de temperaturas máximas y mínimas durante seis épocas de siembra de ensayos de evaluación de la tolerancia del frijol común a las altas temperaturas. Nacaome, Honduras, 2015-16.

Época (mes de siembra)	Máxima ($^{\circ}\text{C}$)		Mínima ($^{\circ}\text{C}$)	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango
Verano (febrero) 2015	39.1	29.2- 42.6	24.2	20.7- 28.2
Primera (junio) 2015	37.9	36.9- 41.0	23.0	18.0- 28.0
Postrera (octubre) 2015	36.8	31.1- 40.6	22.2	17.6- 25.1
Verano (febrero) 2016	37.8	31.6- 43.6	22.9	17.1- 27.6
Primera (junio) 2016	39.3	32.6- 43.6	23.3	20.6- 25.6
Postrera (noviembre) 2016	37.9	31.3- 42.6	20.4	15.6- 26.6
Promedio	38.1	32.1- 42.3	22.7	18.3- 26.9

En el ensayo BASE-2014 conducido bajo riego en el verano (febrero) del 2015, los rendimientos de semilla de las 20 líneas superiores, los testigos y el promedio de las 120 líneas del ensayo, indican grandes diferencias en la adaptación de las líneas de frijol común a las altas temperaturas (Cuadro 2). Se destacan las líneas de frijol tépari TARS-Tep 22, 29 y 32

las líneas de frijol común andina Indeterminate Jamaica Red (IJR) y la mesoamericana USRM-20 (>1,200 kg ha⁻¹). Por el contrario, el comportamiento reproductivo de los testigos y de un gran número de líneas de frijol común fue severamente afectado por las altas temperaturas, incluyendo 29 líneas que no produjeron semilla; debido a esto, el promedio de rendimiento de

Cuadro 2. Rendimiento de semilla, peso de 100 semillas e índices de partición y de cosecha de vainas de 16 líneas de frijol común y tépari con el mayor rendimiento y cuatro testigos de las 120 líneas del ensayo Evaluación de Líneas de Frijol bajo Estreses Abióticos (BASE)-2014 conducido bajo condiciones de altas temperaturas en la época de siembra de verano (febrero) del 2015. Nacaome, Honduras.

Línea	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Peso 100 semillas (g)	Índice partición vainas	Índice cosecha vainas
TARS-Tep 22 ^z	3,045 a	14.2 bc	0.67 a	0.44 a
TARS-Tep 29	2,993 a	17.0 a	0.65 a	0.41 a
TARS-Tep 32	2,845 ab	17.0 ab	0.68 a	0.44 a
TARS-Tep 23	1,450 bc	16.4 bc	0.60 a	0.29 a
Ind. Jamaica Red	1,339 bcd	25.5 abcd	0.54 a	0.41 a
USRM-20	1,267 bcd	23.6 abcd	0.61 abcd	0.41 a
SB-DT1	932 bcde	17.3 bcde	0.33 bcd	0.42 a
Beniquez	912 bcde	19.0 abcd	0.28 bcd	0.40 a
SEF 15	850 cde	22.5 abcd	0.38 bc	0.40 a
Matterhorn	846 cde	30.3 abcd	0.37 bc	0.50 a
H9657-27-10	804 cde	31.7 ab	0.47 bc	0.39 a
INB 841	769 def	19.5 abcd	0.45 bc	0.41 a
SEF 16	715 f	14.9 de	0.39 bc	0.40 a
I9365-31	702 fg	13.4 de	0.24 cde	0.59 a
G122 (Jatu Rong)	697 fg	26.5 abcd	0.54 a	0.38 a
SER 118	676 fg	25.6 abc	0.28 bcd	0.41 a
Amadeus 77 (T1) ^y	407 g	21.3 abc	0.28 bcd	0.36 a
DOR 390 (T2)	185 fg	6.1 e	0.07 e	0.17 b
ICA Calima (T3)	160 fg	2.7 f	0.16 bcde	0.29 b
ICA Quimbaya (T4)	562 f	33.1 a	0.31 abc	0.36 a
Promedio (n= 120)	360	13.0	0.19	0.22
DMS (<0.05)	545	15.2	0.20	0.23

^zTARS-Tep 22, 23, 29 y 32 son líneas de frijol tépari (*P. acutifolius*). ^yT1 a T4 son variedades testigos de frijol común.

(>2,800 kg ha⁻¹), seguidas de un segundo grupo conformado por el frijol tépari TARS-Tep 23 y

semilla de las 120 líneas del ensayo fue muy bajo (360 kg ha⁻¹).

El peso de 100 semillas de las líneas de frijol tépari en el ensayo BASE-2014 fue menor que las de frijol común, debido principalmente a las diferencias en las características de tamaño de la semilla de estas especies. En las líneas de frijol común, el peso más bajo se presentó en el testigo DOR 390 (6.1 g) y el mayor en ICA Quimbaya (33.1 g). En las líneas que produjeron semillas, el índice de partición de vainas (IPV) fue más alto en las de frijol tépari que en la mayoría de las de frijol común, y los IPV más bajos en los cuatro testigos. En cuanto al índice de cosecha de vainas (ICV), las diferencias fueron menores, y el valor más bajo se presentó en el testigo DOR 390 (0.17) y el más alto en I9365-31 (0.59), una línea de frijol común de

bajo rendimiento en condiciones de altas temperaturas.

En el ensayo BASE-2015 conducido en el verano (febrero) del 2016, la línea de frijol tépari G40001 presentó un rendimiento muy superior (4,188 kg ha⁻¹), seguida de las líneas interespecífica INB 841 (2,215 kg ha⁻¹), frijol tépari TARS-Tep 22 (2,153 kg ha⁻¹) y frijol común PR9920-171 (2,013 kg ha⁻¹) (Cuadro 3). Asimismo, un grupo de líneas de frijol común encabezada por IJR (1,776 kg ha⁻¹) presentaron un rendimiento superior al promedio de las 120 líneas (662 kg ha⁻¹) y al de los cuatro testigos comerciales, mostrando tolerancia a las altas temperaturas registradas en la localidad de Nacaome.

Cuadro 3. Rendimiento de semilla, días a floración, peso de 100 semillas, e índices de partición y de cosecha de vainas de las 16 líneas con el mayor rendimiento y los cuatro testigos de 120 líneas del ensayo Evaluación de Líneas de Frijol Bajo Estreses Abióticos (BASE)-2015 conducido en condiciones de altas temperaturas en la época de siembra de verano (febrero) del 2016. Nacaome, Honduras.

Línea	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Días a floración	Peso 100 semillas (g)	Índice partición vainas	Índice cosecha vainas
G40001 ^z	4,188 a	32 d	10.8 f	0.42 abcde	0.79 a
INB 841	2,215 b	34 d	24.4 a	0.47 ab	0.73 a
TARS-Tep 22 ^z	2,153 bc	32 cd	11.6 ef	0.60 a	0.79 a
PR9920-171	2,013 cd	36 c	29.5 abc	0.45 abcd	0.74 a
Ind. Jamaica Red	1,776 d	37 c	28.7 abc	0.52 ab	0.74 a
SER 78	1,587 de	37 c	20.3 cd	0.22 de	0.64 a
Cedrón	1,571 def	39 a	25.6 abc	0.26 cde	0.61 a
SB-DT1	1,447 ef	39 a	16.9 cdef	0.25 cde	0.74 a
Cardenal	1,427 ef	39 b	20.2 cde	0.28 bcde	0.64 a
ICTAZAM ML	1,399 efg	38 b	16.9 cdef	0.48 ab	0.71 a
DEORHO	1,326 fg	27 e	20.3 cd	0.27 bcde	0.66 a
Morales	1,316 fg	40 a	23.0 a	0.32 abcde	0.68 a
SB 781	1,310 fg	40 a	21.1 bc	0.28 bcde	0.68 a
SB 793	1,230 g	39 a	22.2 bc	0.12 f	0.51 a
FBN 1210-48	1,222 g	37 c	22.7 abc	0.38 abcde	0.48 a
BIOF 2-106	1,206 g	39 a	19.4 cdef	0.31 abcde	0.75 a
Amadeus 77 (T1) ^y	221 i	40 a	14.8 def	0.39 abcde	0.52 a
DOR 390 (T2)	584 h	39 a	17.9 cdef	0.21 ef	0.48 a
ICA Calima (T3)	0 j	36 c	0.0 g	0.03 g	0.00 b
ICA Quimbaya (T4)	234 i	39 a	30.0 a	0.23 ef	0.52 a
Promedio (n=120)	662	38.8	19.1	0.19	0.51

DMS (<0.05)	140	0.8	8.7	0.18	0.41
-------------	-----	-----	-----	------	------

^z G40001 y TARS-Tep 22 son líneas de frijol tépari (*P. acutifolius*). ^y T1 a T4 son variedades testigos de frijol común.

Durante la época de primera (junio) del 2015, las altas temperaturas y una fuerte incidencia del virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV, siglas en inglés) y los efectos en la formación de vainas y semillas fueron más severos en los ensayos sembrados en esa época. La mayoría de las líneas de ocho ensayos, incluyendo el BASE-2014 y siete ensayos regionales, presentaron una pobre formación de vainas y semillas, y en consecuencia bajos rendimientos de semilla. Sin embargo, 20 líneas de siete ensayos produjeron más de 500 kg ha⁻¹, incluyendo la línea de frijol

tépari TARS-Tep 22 con excelente rendimiento (>2,000 kg ha⁻¹), y las líneas de frijol común MEN 934-29, BIOF 4-70, BRT 943-20, FBN 1208-64, ALS 0546-97 y otras con un rendimiento aceptable (>1,000 kg ha⁻¹) bajo las condiciones limitantes de altas temperaturas y una fuerte incidencia del BGYMV registradas durante el ensayo (Cuadro 4). Estas 20 líneas pasaron a conformar el ensayo ERSAT-2, cuyos resultados se describen a continuación.

Cuadro 4. Líneas tolerantes al calor seleccionadas del Ensayo Regional de Líneas de Frijol Tolerantes a Altas Temperaturas (ERSAT)-1 y siete ensayos de la Red de Frijol de Centro América y El Caribe con base en el rendimiento de semilla bajo condiciones de altas temperaturas durante la época de siembra de primera (junio) del 2015. Nacaome, Honduras.

Ensayos de la Red de Centro América y El Caribe	Líneas seleccionadas ^z
ERSAT-1 (Ensayo Regional de Líneas de Frijol Tolerantes a Altas Temperaturas)	TARS-Tep 22, MER 2212-28, IJR y Beniquez
ECAR Negro (Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento de Frijol de Grano Negro)	MEN 934-28, MEN 934-29, MEN 934-38, MEN 934-68, BIOF 4-70, BRT 943-20 y FBN 1208-64
COVA Rojo (Ensayo de Comprobación de Variedades de Grano Rojo)	SJC 730-79, BRT 103-182, RS 909-35 y MHR 311-17
ERFBN (Ensayo Regional de Fijación Biológica de Nitrógeno en Frijol Común)	FBN 1211-66
Agrosalud (Ensayo Regional de Líneas de Frijol con Alto Contenido Mineral)	SEF 70 y SMN 26
ERMAN (Ensayo Regional de Líneas de Frijol Resistentes a la Mancha Angular)	ALS 0532-6 y ALS 0546-97

^z Incluye 20 líneas que produjeron un rendimiento de semilla promedio >500 kg ha⁻¹.

En el ensayo ERSAT-2 conducido en la postrera (octubre) del 2015, la línea de frijol común SJC 730-79 presentó el mejor rendimiento de semilla (1,887 kg ha⁻¹), seguida de un grupo de líneas incluyendo a frijol tépari TARS-Tep 22 (1,265 kg ha⁻¹), FBN 1211-66 (1,119 kg ha⁻¹) y MHR 311-17 (1,178 kg ha⁻¹) de frijol común que superaron al promedio (706

kg ha⁻¹) de las 24 líneas del ensayo (**Cuadro 5**). Algunas líneas de buen comportamiento en ensayos previos, como IJR y USRM-20, no tuvieron un buen comportamiento en este ensayo debido a la incidencia de BGYMV. En el ensayo ERSAT-2 conducido en la época de verano (febrero) del 2016, los rendimientos de semilla fueron muy superiores a los de la época

de postrera del 2015. La línea de frijol tépari TARS-Tep 22 presentó el más alto rendimiento de semilla (2,989 kg ha⁻¹), seguida de las líneas de frijol común FBN 1211-66 (2,455 kg ha⁻¹), SJC 730-79 (2,177 kg ha⁻¹) y MEN 934-68

(1,815 kg ha⁻¹) que presentaron los mejores rendimientos, superando significativamente al promedio (1,065 kg ha⁻¹), y a Amadeus 77 (619 kg ha⁻¹), la variedad testigo del ensayo.

Cuadro 5. Rendimiento de semilla y media geométrica (kg ha⁻¹) de 24 líneas del Ensayo Regional de Líneas de Frijol Tolerantes a Altas Temperaturas (ERSAT)-2 conducido bajo condiciones de altas temperaturas en las épocas de siembra de postrera (octubre) del 2015 y verano (febrero) del 2016. Nacaome, Honduras.

Línea	Rendimiento época postrera (oct. 2015)	Rendimiento época verano (feb. 2016)	Media geométrica
SJC 730-79	1,887 a	2,177 b	2,027 a
TARS-Tep 22 ^z	1,265 b	2,989 a	1,945 a
FBN 1211-66	1,119 bcd	2,455 b	1,657 a
MHR 311-17	1,178 bcd	1,050 ef	1,112 b
MER 2212-28	1,125 bcde	1,190 ef	1,157 b
SB-DT1	959 bcde	1,205 ef	1,075 b
MEN 934-28	769 cdef	1,190 ef	957 bc
MEN 934-68	488 gh	1,815 c	941 bc
MEN 934-29	945 def	748 gh	841 bcd
Beniquez	467 fg	1,414 d	812 bcd
BIOF 4-70	589 fg	1,038 defg	782 bcd
BRT 103-182	965 bcde	496 hijk	692 cde
Amadeus 77	748 fgh	619 hij	680 cde
ALS 0532-6	1,093 bcde	419 hijkl	677 cde
SEN 52	426 ghij	960 fgh	640 cdef
Ind. Jamaica Red	307 ij	1,319 de	636 cdef
SMN 26	419 ghij	885 efgh	609 cdef
BRT 943-20	816 fg	392 hijkl	566 defg
MEN 934-38	335 hij	485 hijk	403 efg
USRM-20	172 hi	852 fgh	383 efg
FBN 1208-64	328 ij	282 kl	304 fg
SEF 70	79 ij	984 efg	279 fg
RS 909-35	418 ghij	150 l	250 g
ALS 0546-97	60 ij	715 hi	207 g
Promedio (n=24)	706	1,065	867
DMS (<0.05)	412	332	370

^z Frijol tépari (*P. acutifolius*). Tepary bean (*P. acutifolius*).

En las dos épocas de siembra del 2016 en las que se evaluó el ensayo ERSAT-3 bajo condiciones de altas temperaturas, se presentaron diferencias significativas entre las líneas evaluadas (Cuadro 6). En la época de primera (junio), los efectos de las altas temperaturas y las condiciones de alta humedad debida a las mayores precipitaciones tuvieron

un mayor efecto en el rendimiento de semilla promedio de las 24 líneas (479 kg ha⁻¹), comparado con las condiciones de altas temperaturas con menor precipitación y el suplemento de los requerimientos hídricos mediante riego por goteo en la postrera (noviembre) (1,803 kg ha⁻¹).

Cuadro 6. Rendimiento de semilla y media geométrica (kg ha⁻¹) de 24 líneas de frijol común del Ensayo Regional de Líneas de Frijol Tolerantes a Altas Temperaturas (ERSAT)-3 conducido bajo condiciones de altas temperaturas en las épocas de siembra de primera (junio) y postrera (noviembre) del 2016. Nacaome, Honduras.

Línea	Rendimiento época primera (junio 2016)	Rendimiento época postrera (nov. 2016)	Media geométrica
FBN 1211-66	658 bcdefg	3,084 a	1,424 a
Beniquez	734 bcde	2,384 bc	1,323 ab
Cedron	833 b	2,026 c	1,299 abc
TARS-Tep 22	1,202 a	1,219 f	1,210 abcd
Amadeus 77	709 bcdef	1,616 defg	1,070 abcde
PR 9920-171	797 bcd	1,350 fg	1,037 bcdef
Cardenal	504 efghi	1,821 cdef	958 cdefg
FBN 1210-48	558 defghi	1,607 g	947 cdefg
DEORHO	431 ghijk	2,045 cde	939 cdefg
ICTAZAM ML	814 bc	1,066 g	931 cdefg
MEN 934-68	555 efghi	1,554 efgh	929 cdefg
SJC 730-79	581 cdefgh	1,339 fgh	882 defgh
Ind. Jam. Red	461 ghij	1,532 gh	840 defgh
MHR 311-17	243 jklm	2,390 bc	762 efgh
DOR 390	404 hijkl	1,262 fgh	714 efgh
Morales	184 lm	2,768 ab	713 efgh
SB-DT1	439 ghijk	1,613 efg	708 efgh
BIOF 2-106	168 lm	2,805 ab	687 efgh
SB 781	356 ijkl	1,309 fgh	683 fgh
INB 841	199 klm	1,152 gh	479 h
USRM 20	43 m	1,354 fgh	241 hi
SER 78	14 m	2,226 bcd	177 hi
SB 793	2 m	2,060 cde	45 i
Promedio (n=24)	479	1,803	929
DMS (<0.05)	243	610	385

^z Frijol tépari (*P. acutifolius*). Tepary bean (*P. acutifolius*).

Los promedios de las temperaturas máximas y mínimas indican diferencias entre la época de primera (39.3 y 23.3 °C) y la de postrera (37.9 y 20.4 °C) del 2016 en las que se condujeron el ensayo ERSAT-3 (Cuadro 1). Según el índice de la media geométrica, las accesiones de mejor comportamiento en ambas épocas de siembra fueron las líneas de frijol común FBN1211-66 (1,424 kg ha⁻¹), Beniquez (1,323 kg ha⁻¹), Cedron (1,299 kg ha⁻¹) y la línea de frijol tépari TARS-Tep 22 (1,210 kg ha⁻¹), sin embargo, estas no superaron al testigo Amadeus

77 (1,070 kg ha⁻¹) y a otras líneas de frijol común.

En general los coeficientes de correlación de Pearson entre el rendimiento de semilla de los ensayos BASE-2014 y BASE-2015 y los días a floración, índices IPV y ICV, y el peso seco de 100 semillas fueron significativos (Cuadro 7). Las 120 líneas que conformaron los ensayos BASE, procedentes de varios programas, presentaron un comportamiento muy variable bajo las condiciones de altas temperaturas. Sin embargo, en los ensayos ERSAT no se presentaron

coeficientes de correlación significativos entre el rendimiento de semilla y las variables mencionadas, excepto con el peso de 100 semillas en el ensayo ERSAT-3. Cabe mencionar que los ensayos ERSAT estuvieron

conformados por líneas previamente seleccionadas por su tolerancia al calor en ensayos BASE y otros ensayos conducidos en épocas anteriores.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre el rendimiento de semilla y días a floración, índices de partición y de cosecha de vainas, y peso de 100 semillas de los ensayos BASE y ERSAT de frijol común conducidos bajo condiciones de altas temperaturas en 2015-16. Nacaome, Honduras.

Ensayo (época siembra)	Días a floración	Índice partición vainas	Índice cosecha vainas	Peso 100 semillas (g)
BASE-2014 (feb. 2015)	0.91**	0.93**	0.87**	0.79**
BASE-2015 (feb. 2016)	-0.44**	0.70**	0.80**	0.43**
ERSAT-2 (oct. 2015)	nd	-0.12 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.02 ^{ns}
ERSAT-2 (feb. 2016)	0.26 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	0.15 ^{ns}
ERSAT-3 (jun. 2016)	0.36 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.47*	0.56**
ERSAT-3 (nov. 2016)	0.01 ^{ns}	0.29 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.14 ^{ns}

*, **, ns, nd Significativo al $p < 0,05$, $p < 0,01$, no significativo, y no determinado, respectivamente.

Discusión

Las altas temperaturas promedios registradas en los ensayos conducidos en Nacaome, Honduras, máxima de 38.1 °C en el día y mínima de 22.7 °C en la noche, durante las seis épocas de siembra de los ensayos BASE y ERSAT, superaron el rango de adaptación favorable para el cultivo de frijol común de 18 a 24 °C, que se presentan a altitudes de 400-1,200 msnm en las regiones productoras en Centro América (Rosas *et al.* 2000); así como también, al óptimo sugerido por Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto (2017). En estos ensayos se presentó una alta abscisión de botones, flores y vainas, formación de vainas pequeñas, vanas o deformadas, menor número y tamaño de semillas, causando reducción en el rendimiento de semilla en las líneas de frijol común sensibles al calor, lo que concuerda con resultados previos (Gross & Kigel 1994; Rosas *et al.* 2000; Prasad *et al.* 2002).

Las condiciones de altas temperaturas durante el periodo de la presente investigación, fueron adecuadas para alcanzar el objetivo del estudio de identificar líneas de frijol común tolerantes a este estrés abiótico causado por los

efectos del cambio climático que amenaza a cultivos sensibles como el frijol común en Centro América (Porch *et al.* 2007; Beebe *et al.* 2012; Gotlieb *et al.* 2018); y afectando principalmente las etapas reproductivas y por ende el rendimiento de semilla (Konsens *et al.* 1991; Porch & Jahn 2001; Prasad *et al.* 2002; Rainey & Griffiths 2005). Afortunadamente, en la actualidad los incrementos de altas temperaturas todavía no se presentan en la mayoría de las zonas productoras de frijol común; sin embargo, pequeños incrementos en el futuro podrían desplazar las variedades tradicionales y mejoradas sensibles al calor (Poch *et al.* 2007; Beebe *et al.* 2013).

Tradicionalmente, los agricultores a través de la experiencia o el “conocimiento local” de los efectos de las altas temperaturas en las zonas bajas, han evitado esta problemática sembrando en zonas altitudinales menos afectadas o en épocas en las cuales disminuyen las temperaturas. Sin embargo, debido a que en las últimas décadas se han presentado incrementos en las temperaturas en la mayoría de las regiones productoras de frijol común, se requiere de germoplasma mejor adaptado a estas condiciones con las características

agronómicas y la calidad de grano deseadas por productores y consumidores (Rosas et al. 2000; Beaver et al. 2003).

Los resultados indican la existencia de tolerancia a altas temperaturas en un número reducido de accesiones de germoplasma de frijol común de grano rojo, negro y blanco evaluado en este estudio. Algunas de estas líneas tolerantes presentan un buen potencial de adaptación para su utilización como variedades, porque también presentan resistencia a las principales enfermedades que afectan al cultivo en la región Centroamericana. Entre estas se incluyen líneas de grano rojo liberadas como variedades en la región de Centro América y El Caribe, incluyendo la línea SJC 730-79 liberada como la variedad “CENTA EAC” en El Salvador (Parada et al. 2015; Rosas et al. 2020), y como ‘Rojo Chortí’ en Honduras (Rosas et al. 2019), y MER 2212-28 liberada como la variedad ‘Paisano PF’ en Honduras (Rosas et al. 2020). Entre las líneas tolerantes de grano negro se puede mencionar a la línea BRT 943-20 liberada como la variedad ‘CENTA Negro Tacuba’ en El Salvador (Ventura et al. 2018; Rosas et al. 2020). Así mismo, la variedad de grano blanco ‘Beníquez’ liberada en Puerto Rico (Beaver et al. 2011), también presentó tolerancia al calor en algunos ensayos BASE y ERSAT.

Los resultados sugieren la importancia de la utilización de líneas de frijol tépari como fuentes de tolerancia a condiciones de altas temperaturas en el mejoramiento genético de frijol común. Este potencial de adaptación al calor del frijol tépari podría ser transferido al frijol común utilizando progenitores puentes que faciliten la hibridación del frijol común y el frijol tépari sin la necesidad de rescate de embriones (Barrera et al. 2018).

Los efectos de las altas temperaturas fueron menores en las épocas de siembra de verano (febrero) del 2015 y 2016, y la de postrera (noviembre) del 2016, esta última coincide con los inicios de la siembra de

“postrera tardía” o “apante” en algunas zonas de Centro América, en las que se observaron buenos rendimientos con las líneas que presentaron la mejor adaptación a estas condiciones de estrés. Las siembras en las épocas mencionadas coincidieron con el período de menor precipitación y humedad durante el año en la localidad de Nacaome (Weather Spark 2020), por lo que los requerimientos de agua en los ensayos se proveyeron mediante un sistema de riego por goteo, asegurando que no se registraran períodos de estrés hídrico en las plantas.

Asimismo, en estas épocas de verano y postrera tardía se presentan los períodos de menor presencia de nubes, y noches despejadas con temperaturas más frescas. Por el contrario, en las siembras de primera (junio) 2015 y 2016, que coinciden con los períodos de alta precipitación, se reportaron los rendimientos más bajos y los efectos más severos de las altas temperaturas en las etapas de desarrollo reproductivo de las líneas de frijol común y de enfermedades como el BGYMV. En el ensayo ERSAT-3 se presentaron incidencia y daños causados por *Macrophomina phaseolina*, lo que sugiere que podría convertirse en un problema bajo condiciones más calientes y periodos de estrés hídrico en algunas zonas bajas y de expansión de la producción de frijol común en Centro América.

Conclusiones y recomendaciones

Las altas temperaturas observadas en las condiciones del estudio permitieron de manera efectiva identificar líneas de frijol común con un buen potencial de adaptación para la producción comercial en zonas bajas de Centro América. Sin embargo, asumiendo que las temperaturas seguirán incrementándose en las próximas décadas, se requieren esfuerzos adicionales en la identificación de una base más amplia de germoplasma incluyendo otros parientes del género *Phaseolus*, con mayor tolerancia y estabilidad bajo condiciones de altas temperaturas, así como la implementación de

estrategias de mejoramiento genético que incluyan pruebas múltiples en ambientes de zonas bajas de producción de frijol común y validaciones en finca con enfoques participativos.

Los rendimientos experimentales de semilla de las líneas de frijol común con mejor adaptación a las altas temperaturas durante las épocas de verano (febrero) del 2015 y 2016 y postrera tardía (noviembre) del 2016 fueron superiores al promedio de rendimiento de frijol común en Honduras. Lo anterior sugiere que con variedades tolerantes al calor es factible producir frijol común de manera eficiente en estas épocas menos tradicionales bajo condiciones de humedad residual y complementando los requerimientos hídricos del cultivo con sistemas de riego, tal y como se realiza actualmente en algunas zonas bajas de Centro América donde los efectos de los incrementos de las temperaturas son más notorios.

Algunas de las líneas de frijol común tolerantes al calor, como SJC 730-79 y BRT 943-20, ya han sido liberadas como variedades comerciales en Centro América porque adicionalmente presentan excelente adaptación agronómica, resistencia a las enfermedades importantes, y la calidad de grano rojo y negro pequeño preferidos por los consumidores de la región. Asimismo, algunas líneas tolerantes al calor identificadas en este estudio, como FBN 1211-66 y otras, requieren seguir un proceso adicional de validación en finca para su liberación comercial. Otras accesiones presentaron buena tolerancia al calor, pero no poseen algunas de las características deseables, sin embargo, pueden ser usadas en el mejoramiento genético de este cultivo. Cabe destacar la excelente adaptación de las líneas de frijol tépari en la mayoría de los ensayos, resultados que la posicionan como una leguminosa de grano de potencial futuro en la región, tal y como se le ha venido confirmando desde hace unos años.

Se identificaron líneas de buen comportamiento bajo las condiciones de altas temperaturas, sin embargo, se observaron variaciones en el comportamiento reproductivo en las diferentes épocas de siembra en las que se condujeron los ensayos. Para afrontar este aspecto, se requiere de un mecanismo de evaluación en múltiples localidades incluyendo otras zonas con condiciones de altas temperaturas para una mejor estimación de los efectos de la interacción genotipo \times ambiente que permita la selección de líneas más estables. La Red de Frijol de Centro América y El Caribe podría jugar un papel importante en este esfuerzo, ya que en las zonas bajas productoras de frijol común de la mayoría de los países miembros se estarán confrontando con mayor frecuencia esta problemática causada por los efectos del cambio climático.

Otros aspectos por considerar son la determinación si algunas de las fuentes tolerantes poseen mecanismos diferentes de tolerancia al calor que pudieran recombinarse. Por otro lado, características como raíces profundas pudieran ser importantes para evitar periodos de estrés hídrico bajo condiciones de estrés de altas temperaturas. La alternativa de introgresión de la tolerancia al calor de líneas de frijol tépari a frijol común mediante progenitores puentes hace factible el desarrollo de líneas interespecíficas de mayor potencial bajo condiciones de estrés de altas temperaturas y otros limitantes bióticos y abióticos de la producción de frijol común en Centroamérica y el Caribe.

Contribución en autoría

Todos los autores incluidos en el artículo contribuyeron en el diseño del ensayo BASE.

J.C. Rosas fue el responsable de diseñar los ensayos ERSAT. I.Y. Rodriguez fue responsable del manejo de los ensayos y el procesamiento y análisis de datos. J.C. Rosas redactó el primer borrador y en colaboración

con los demás autores realizaron la edición y redacción de la versión final del manuscrito.

Reconocimiento a colaboradores

Los autores desean agradecer al Dr. Steve Beebe del Centro Internacional de Agricultura Tropical, al Dr. Jonathan Lynch y al Dr. Jimmy Burrige de Pennsylvania State University, por contribuir al diseño y proveer accesiones de germoplasma para el ensayo BASE y sus recomendaciones técnicas en la conducción de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

- Barrera S, Escobar R, Beebe S. 2018. Advanced interspecific hybrids of common bean and tepary bean without embryo rescue. *Bean Improvement Cooperative Annual Report* 61:43–44.
- Barrios-Gómez EJ, López-Castañeda C, Kobashi-Shibata J. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo Flor de Mayo. *Agronomía Costarricense* 35(1):131-145. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1558>
- Beaver JS, Rosas JC, Myers J, Acosta J, Kelly JD, Nchimbi-Msolla S, Misangu R, Temple S, Arnaud-Santana E, Coyne DP. 2003. Contributions of the Bean/Cowpea CRSP to cultivar and germplasm development in common bean. *Field Crops Research*, 82:87-102. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00032-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00032-7)
- Beaver JS, Godoy-Lutz G, Steadman JR, Porch TG. 2011. Release of Beniquez white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 95(3):237-240. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v95i3-4.2579>.
- Beaver JS, González-Vélez A, Lorenzo-Vázquez G, Macchiavelli R, Porch TG, Estevez-de-Jensen C. 2021. Comportamiento de líneas mesoamericanas de frijol en un oxisol no fertilizado. *Agronomía Mesoamericana* 32(3):701-718. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.44498>
- Beebe SE, Rao IM, Mukankusi C, Buruchara RA. 2012. Improving resource use efficiency and reducing risk of common bean production in Africa, Latin America, and the Caribbean. p. 117-134. *In: Hershey CH (ed.). Eco-Efficiency: From vision to reality.* Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. <https://hdl.handle.net/10568/55608>
- Beebe SE, Rao I, Blair MW, Acosta-Gallegos JA. 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontier Physiology* 4:35. doi:10.3389/fphys.2013.00035.
- Brito JR, Sarmiento GE. 2012. Propuesta para la actualización del mapa de suelos de Honduras como base para el diagnóstico de uso del suelo y contenido de carbón orgánico. Proyecto especial de graduación de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 50p. <http://hdl.handle.net/11036/1093>
- Chaves-Barrantes NF, Gutierrez-Soto MV. 2017. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana* 28(1):255-271. Doi:10.15517/am.v28i1.21904
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2015. Developing beans that can beat the heat. CIAT, Cali, Colombia. <https://hdl.handle.net/10568/61841>
- Gotlieb Y, Pérez-Briceño PM, Hidalgo H, Alfaro E. 2019. The Central America dry corridor: A consensus statement and its background. *Revista Yu'am*, 3(5):42-51.
- Gross Y, Kigel J. 1994. Differential sensitivity to high temperatures of stages in the reproductive development of common

- bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Field Crops Research 36:201-212. doi:10.1016/0378-4290(94)90112-0.
- Hannah L, Ikegami M, Hole, DG, Seo C, Butchart SHM, Peterson AT, Roehrdanz PR. 2013. Global climate change adaptation priorities for biodiversity and food security. PlosOne 8(8). doi:10.1371/journal.pone.0072590
- Holdridge LR. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA, San José, Costa Rica, 214p. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- Konsens I, Ofir M, Kigel J. 1991. The effect of temperature on the production and abscission of flowers and pods in snap beans. Annals of Botany, 67(5):391-399. DOI: [10.1093/oxfordjournals.aob.a088173](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088173)
- Kusolwa, P. M. & Myers, J. R. (2011). Wild tepary bean G40199 confers resistance to *Acanthoscelides obtectus* when expressed in common beans. African Crop Science Journal 19(4):255–256.
- Masaya, P., & White, J. W. (1991). Adaptation to photoperiod and temperature. In *Common Beans: Research for Crop Improvement*. A. V. Schoonhoven and O. Voysest (eds), C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp:445-500.
- Mayek-Pérez N, López-Castañeda C, López-Salinas E, Cumpián-Gutiérrez J, Acosta-Gallegos JA. (2001). Resistencia a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goig en frijol común en condiciones de campo en México. Agrociencias 35:649-661.
- Monterroso VA, Wien HC. 1990. Flower and pod abscission due to heat stress in beans. Journal of the American Society of Horticultural Science 115:631-634.
- Oladzad A, Porch TG, Rosas JC, Mafi Moghaddam S, Beaver JS, Beebe SE, Burrige J, Nhagupana Jochua C, Amade Miguel M, Miklas PN, Ratz B, White JW, Lynch JP, McClean PE. 2019. Single and multi-trait GWAS identify genetic factors associated with production traits in common beans under abiotic stress environments. Genes|Genomes|Genetics (G3) 9:1881-1892. doi: [10.1534/g3.119.400072](https://doi.org/10.1534/g3.119.400072)
- Parada JR, Ventura R, Clará A, Bruno O. 2015. CENTA EAC variedad de frijol color rojo claro. Centro Nacional Tecnología Agropecuaria y Forestal. <http://arsftfbean.uprm.edu/bean/wp-content/uploads/2020/02/CENTA-2015>
- Polania JA, Poschenrieder C, Beebe S, Rao IM. 2016. Effective use of water and increased dry matter partitioning to grain contribute to yield of common bean improved for drought resistance. Frontiers in Plant Science 7:1-10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00660>
- Porch TG, Jahn M. 2001. Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. Plant, Cell and Environment 24:723-731. <https://doi.org/10.1046/j.13653040.2001.00716.x>
- Porch TG, Bernsten R, Rosas JC, Jahn M. 2007. Climate change and the potential economic benefits of heat-tolerant bean varieties for farmers in Atlantida, Honduras. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 91(3-4):133-148. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v91i3-4.3281>
- Porch TG, Beaver JS, Brick M. 2013. Registration of tepary germplasm with multiple-stress tolerance, TARS-Tep 22 and TARS-Tep 32. Journal of Plants Registration 7:358-364.

- <https://doi.org/10.3198/jpr2012.10.0047crg>
- Prasad PVV, Boote KJ, Allen LH, Thomas JMG. 2002. Effect of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Global Change Biology* 8:710-721. Doi:10-1046/j.1365-2486.00508.x
- Rainey KM, Griffiths PD. 2005. Inheritance of heat tolerance during reproductive development in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the American Society of Horticultural Science* 130:700-706.
- Rosas JC. 2013. Contribuciones del Programa de Investigaciones en Frijol en Centro América y El Caribe. *Ceiba* 52:65-73. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v52i1.967>
- Rosas JC, Beaver JS, Escoto D, Perez CA, Llano A, Hernandez JC, Araya R. 2004. Registration of Amadeus 77 small red common bean. *Crop Science* 44:1867-1868. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1867>
- Rosas JC, Beaver JS, Porch TG. 2020. Bean cultivars and germplasm released in Central America and the Caribbean. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 63:107-110.
- Rosas JC, Castro JA, Beaver JS, Perez CA, Morales A, Lépiz R. 2000. Mejoramiento genético para tolerancia a altas temperaturas y resistencia a mosaico dorado en frijol común. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1):1-10. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43711101>
- Rosas JC, Gallardo O, Jimenez J. 2003. Mejoramiento genético del frijol común mediante enfoques participativos en Honduras. *Agronomía Mesoamericana* 14(1):1-9. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43714101>
- Rosas JC, Rodriguez IY, Escoto ND, Meza N. 2019. Propuesta de liberación de la variedad de frijol Rojo Chortí. Comité Nacional de Liberación de Variedades e Híbridos Vegetales, Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). <http://dicta.gob.hn/files/Frijol-2016-012.pdf>
- Rosas JC, Varela OI, Beaver JS. 1997. Registration of Tío Canela 75 small red bean (race Mesoamerica). *Crop Science* 37:1391. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700040080x>
- Singh SP, Miklas PN. 2015. Breeding common bean for resistance to common blight. *Crop Science* 55:971-984. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.07.0502>
- Traub J, Porch T, Naeem M, Urrea CA, Austic G., Kelly JD. 2018. Screening for heat tolerance in *Phaseolus* spp. using multiple methods. *Crop Science* 58:2459-2469. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0275>
- Ventura R, Clara A, Bruno O, Parada JR. 2018. Variedad de frijol negro brillante CENTA Tacuba. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA, El Salvador, 4p.
- Yadah SS, Redden R, Hatfield JL, Lotze-Campen H, Hall A. 2011. *Crop adaptation to climate change*. J. Wiley and Sons, Hoboken, NJ. <https://hdl.handle.net/10568/10362>
- Wahid A, Gelani S, Ashraf M, Foolad M.R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental Experimental Botany*, 61:199-223. doi:10.1016/j.envexpbot.2007.05.011
- Weather spark. 2021. El clima promedio de Nacaome, Honduras. Basado en un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora y

reconstrucciones de modelos del 1 de
enero de 1980 al 31 de diciembre 2016.
<https://es.weatherspark.com/y/13656/Clima-promedio-en-Nacaome-Honduras->