

**Evaluación fenotípica de líneas de frijol
común a la tolerancia a altas temperaturas en
el sur de Honduras y su caracterización
molecular**

**Edinso Elvis Rodríguez Delzo
Luis Gamarra Ccanri**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Evaluación fenotípica de líneas de frijol
común a la tolerancia a altas temperaturas en
el sur de Honduras y su caracterización
molecular**

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

Presentado por

**Edinso Elvis Rodríguez Delzo
Luis Gamarra Ccanri**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2016

Evaluación fenotípica de líneas de frijol común a la tolerancia a altas temperaturas en el sur de Honduras y su caracterización molecular

Edinso Elvis Rodríguez Delzo
Luis Gamarra Ccanri

Resumen. Las variaciones de temperatura son determinantes en la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L), influyendo directamente en su desarrollo vegetativo y reproductivo. El objetivo del estudio fue identificar líneas tolerantes al estrés de altas temperaturas para fines de producción comercial y mejoramiento genético. Se evaluaron 19 líneas de frijol común provenientes de evaluaciones previas y cinco testigos, cuatro de frijol común (Amadeus 77, SEN 52, USRM 20 e IJR) y uno de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*). La evaluación en campo se condujo en Nacaome, Honduras, en las épocas de postrera (Oct. 2015) y verano (Feb. 2016). Las 24 líneas se sembraron en camas de 1.2 m ancho \times 2.5 m largo a doble hilera (50 plantas/cama). Se usó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Se evaluó el índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC), peso seco de 100 semillas (PSCS) y rendimiento (kg ha⁻¹). Se realizaron análisis de varianza y separación de medias por diferencia mínima significativa (DMS) al $P \leq 0.05$. También se evaluó la distancia genética de las líneas con marcadores RAPD (siglas en inglés de random amplified polymorphic DNA). Las líneas de frijol común SJC 730-79 y FBN 1211-66, y el tepari Tep 22, fueron superiores en rendimiento, mostrando tolerancia a las altas temperaturas presentes en los ensayos. El análisis RAPD indicó que la distancia genética de las mencionadas líneas es significativa, y que se podrían utilizar en cruzamientos para generar recombinaciones favorables para fines de mejoramiento de la resistencia a enfermedades y adaptación a estreses múltiples del frijol común. Se sugiere utilizar la línea Tep 22 como cultivo alternativo en condiciones extremas de altas temperaturas, y como progenitor en cruza inter-específicas con líneas de frijol común como SJC 730-79.

Palabras clave: Cebadores, electroforesis, extracción, germoplasma.

Abstract. The temperature variations are decisive in the production of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), directly influencing their vegetative and reproductive development. The objective of the study was to identify tolerant lines to the stress of high temperatures for commercial production and breeding purposes. 19 lines of common bean from previous trials and five checks were evaluated: four common bean (Amadeus 77, SEN 52, USRM 20 and IJR) and one tepary bean (*Phaseolus acutifolius*). The field evaluation was conducted in Nacaome, Honduras, during the second season (Oct. 2015) and summer (Feb 2016). 24 lines were sown in beds of 1.2 m wide \times 2.5 m long double line (50 plants/bed). A design of blocks completely at random with 4 replications was used. The index partition of pods (IPV), harvest index (CI), dry weight of 100 seeds (PSCS) and yield (kg ha⁻¹) was evaluated. Analysis of variance and separation by least significant difference (LSD) were $P \leq 0.05$. We also evaluated the genetic distance of lines with RAPD markers (acronym for random amplified DNA polymorphic). The lines of common bean SJC 730-79 and FBN 1211-66, and the tepary Tep 22, were superior in performance, showing tolerance to high temperatures present in trials. RAPD analysis indicated that the genetic distance of the mentioned lines is significant, and that they could be used in crosses to generate

recombinations favorable for purposes of improving disease resistance and adaptation to multiple stresses of common bean. It is suggested to use line Tep 22 as an alternative crop in extreme high temperatures, and as a parent on inter - specific crosses with lines of common bean as SJC 730-79.

Key words: Electrophoresis, extraction, germplasm, primers.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	v
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	2
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES.....	21
5. RECOMENDACIONES.....	22
6. LITERATURA CITADA.....	23
7. ANEXOS	25

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Líneas avanzadas de frijol común incluidas en los ensayos de campo para la evaluación de la tolerancia a altas temperaturas y análisis molecular en laboratorio.....	3
2. Cantidad representativa de solución de trabajo y solución buffer para la cuantificación de ADN de cada línea de frijol común.	5
3. Cebadores usados para el análisis RAPD de 24 líneas de frijol evaluadas en ensayos de altas temperaturas.....	6
4. Perfil térmico para amplificación aleatoria de ADN polimórfico por la técnica de RAPD (random amplified polymorphic DNA)..	6
5. Mezcla maestra necesaria para la PCR de las muestras de 24 líneas de frijol	7
6. Comportamiento del rendimiento (kg ha ⁻¹), IPV, IC y PSCS de 24 líneas de frijol bajo altas temperaturas en la época de postrera 2015 (Octubre-Diciembre). Nacaome, Honduras.	10
7. Comportamiento del rendimiento (kg ha ⁻¹), IPV, IC y PSCS de 24 líneas de frijol bajo altas temperaturas en la época de verano 2016 (Febrero-Abril). Nacaome, Honduras	11
8. Comportamiento del rendimiento (kg ha ⁻¹), IPV, IC y PSCS de las 24 líneas de frijol de los ensayos conducidos en las épocas de postrera del 2015 y verano del 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Hondura.	12
9. Rendimiento (kg ha ⁻¹) de las 24 líneas de frijol evaluadas en los ensayos postrera 2015 y verano 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Honduras.....	14
10. Índice de partición de vainas (IPV) de 24 líneas de frijol evaluadas en las épocas de postrera del 2015 y el verano 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome. Honduras	15
11. Índice de cosecha (IC) de 24 líneas de frijol evaluadas en las épocas de postrera del 2015 y el verano 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Honduras.....	16
12. Peso seco de 100 semillas (PSCS) de 24 líneas de frijol evaluadas en las épocas de postrera del 2015 y el verano 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Honduras.....	17

Figuras	Página
1. Distribución de bandas polimórficas de ADN en electroforesis del marcador RAPD OPU-01 generados de 24 líneas de frijol.....	7
2. Correlación rendimiento e índice de cosecha de 24 líneas de frijol para las épocas de postrera 2015 y verano 2016.....	18
3. Correlación rendimiento e índice de partición de vainas de 24 líneas de frijol para las épocas de postrera 2015 y verano 2016	18
4. Dendrograma de las 24 líneas de frijol común generado mediante el análisis con marcadores moleculares RAPD.....	20

Anexos	Página
1. Condiciones de temperatura y precipitación pluvial durante la época de postrera del 2015 (A) y verano 2016 (B).	25
2. Fluctuación de temperatura promedio y humedad relativa durante la época de postrera 2015 (A) y verano 2016 (B).	26
3. Distribución del rendimiento bajo condiciones de altas temperaturas de líneas de frijol en dos épocas de siembra.....	27
4. Correlaciones (Pearson) de las variables medidas en 24 líneas de frijol durante la postrera 2015.	27
5. Correlaciones (Pearson) de las variables medidas en 24 líneas de frijol durante la verano 2016.	27

1. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa cultivada en diferentes regiones de América y África (Polania *et al.* 2014). Es un cultivo importante para la seguridad alimentaria y nutricional de la mayoría de la población rural y urbana en Centro América y el Caribe (Lennox *et al.* 2013). El frijol se cultiva en sistemas de producción de pequeños agricultores en asocio o relevo principalmente con maíz (Granda *et al.* 2007).

La temperatura es uno de los principales factores limitantes de la productividad de los cultivos. Una buena producción se logra en general con temperaturas que fluctúen entre 18 y 24 °C y precipitaciones de 300 a 350 mm anuales (Rosas 2003). Sin embargo, si el cultivo de frijol común se encuentra sometido a condiciones ambientales de altas temperaturas, se producen la caída de flores y vainas pequeñas, falta de viabilidad de polen, producción de vainas pequeñas con menos semillas por vaina y menores rendimiento en producción de granos (Rosas *et al.* 2000). Se estima que para el 2100 la temperatura media anual aumentaría entre 2.5 a 4.2 °C y la precipitación se reduciría entre un 10 a 13%, lo cual afectaría significativamente la adaptación del cultivo en Centro América. La producción de frijol común en Honduras ante este panorama disminuiría entre 6.7 y 11.4% para el 2030, y entre 20.4 y 42.0% para el 2100 (Lennox *et al.* 2013).

La tendencia del aumento de la temperatura por el cambio climático en las zonas tradicionales de producción de frijol común, plantea la necesidad de desarrollar variedades con mayor tolerancia a altas temperaturas, que las usadas tradicionalmente (Rosas 2011). El mejoramiento genético sería una alternativa viable para generar variedades de frijol con mejor adaptación a las altas temperaturas. Para lo cual es necesario evaluar una amplia base de germoplasma con el fin de identificar progenitores a ser utilizados en programas de mejoramiento.

El uso de marcadores moleculares RAPD (siglas en inglés de random amplified polymorphic DNA) es una herramienta importante para evaluar la diversidad, similitud y variabilidad genética de un grupo de genotipos o líneas (Kadirvel *et al.* 2015). El uso de primers específicos de los marcadores moleculares pueden expresar diferencias genéticas en entre líneas o genotipos de un determinado grupo de germoplasma y expresar estas diferencias a través de un dendrograma (Sneath y Sokal 1973).

El objetivo del estudio fue seleccionar líneas de frijol común tolerantes a las altas temperaturas mediante la medición de variables de eficiencia fisiológica y rendimiento *per se*, e identificar la variabilidad genética existente entre las líneas seleccionadas mediante el uso de marcadores moleculares para identificar progenitores a ser utilizados con fines de mejoramiento genético.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio. Los ensayos de campo para las evaluaciones de las variables fisiológicas y el rendimiento *per se*, se llevaron a cabo en la Escuela Nacional de Agricultura Luis Landa, ubicada en Nacaome, Valle, 90 km al sur de Tegucigalpa, Honduras, 44 msnm, 13°32'00'' LN y 87°29'00'' LO. Se realizaron dos ensayos, el primero se condujo en la época de postrera (Octubre - Diciembre) del 2015, y en la época de verano (Febrero - Abril) del 2016. Las evaluaciones moleculares de las líneas se realizaron en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF), Zamorano, ubicado a 800 msnm, temperatura media anual de 24 °C y precipitación media anual de 1,100 mm.

Evaluación fenotípica. Se evaluaron 24 líneas de frijol, incluyendo un grupo de 19 líneas seleccionadas de ensayos conducidos en Nacaome, Honduras durante la época de primera (Junio - Agosto 2015) bajo temperaturas máximas promedio de 39.1 °C (rango de 29.2 - 42.6 °C) y mínimas de 24.2 °C (rango de 20.7 - 28.2 °C), cuatro de frijol común (Amadeus 77, SEN 52, USRM 20 e IJR) y una de frijol tepari *Phaseolus acutifolius* (Tep 22) (Cuadro 1).

Unidad experimental. La unidad experimental fueron camas, distanciadas a 1.5 m entre camas y de 2.5 m de largo, en las que se sembraron dos hileras por cama utilizando distanciamientos de 0.1 m entre plantas y 0.4 m entre hileras para un total de 50 plantas/cama.

Diseño experimental y análisis estadístico. Las 24 líneas fueron distribuidas en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones para el ensayo de postrera 2015, y dos repeticiones para el ensayo de verano 2016. Se realizaron análisis de varianza y de separación de medias ($P \leq 0.05$) usando el método de diferencias mínima significativa (DMS), utilizando el paquete estadístico Statistix 8.1®.

Los ensayos fue manejado usando una fertilización de 130 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-0) a la siembra y 65 kg ha⁻¹ de urea al aporque. El manejo agronómico, control de malezas, plagas y enfermedades se hicieron según las prácticas recomendadas. El riego se manejó mediante un sistema de riego por goteo (Rosas 2003).

Cuadro 1. Líneas avanzadas de frijol común incluidas en los ensayos de campo para la evaluación de la tolerancia a altas temperaturas y análisis molecular en laboratorio.

No.	Línea	Procedencia ^z
1	SB-DT-1	ERSAT- 15A
2	MER 2212-28	ERSAT- 15A
3	Beniquez	ERSAT- 15A
4	MEN 934-28	ECAR Negro 2015
5	MEN 934-29	ECAR Negro 2015
6	MEN 934-38	ECAR Negro 2015
7	MEN 934-68	ECAR Negro 2015
8	BIOF 4-70	ECAR Negro 2015
9	BRT 943-20	ECAR Negro 2015
10	FBN 1208-64	ECAR Negro 2015
11	SJC 730-79	COVA Rojo 2015
12	BRT 103-182	COVA Rojo 2015
13	RS 909-35	COVA Rojo 2015
14	MHR 311-17	COVA Rojo 2015
15	FBN 1211-66	ERFBN 2015
16	SEF 70	Agrosalud 2015
17	SMN 26	Agrosalud 2015
18	ALS 0546-97	ERMAN 2015
19	ALS 0532-6	ERMAN 2015
20	USRM 20	Testigo mesoamericano
21	IJR	Testigo andino
22	Amadeus 77	Testigo mesoamericano rojo
23	SEN 52	Testigo mesoamericano negro
24	Tep 22	Testigo frijol tepari

^z Ensayos conducidos en las épocas de verano y primera del 2015 en Nacaome, Honduras.

Variables medidas.

Índice de partición de vainas (IPV). En la etapa de llenado de vainas (R8) se muestrearon 10 plantas por parcela, y se separó el follaje de las vainas. Las muestras se secaron al horno a 70 °C x 48 horas, y se determinó el peso seco de vainas (PSV) y de follaje (PSF), y se estimó el índice de partición de vainas (IPV) mediante la fórmula $IPV = PSV / (PSF + PSV)$ (Beebe *et al.* 2013 y Polania *et al.* 2016).

Índice de cosecha (IC). A la madurez de cosecha se cosecharon las vainas de 10 plantas de la parcela. Las vainas fueron desgranadas y secadas al horno a 70 °C x 48 horas para obtener el peso seco de vainas (PSV) y de semillas (PSS), y determinar el índice de cosecha mediante la fórmula $IC = PSS / (PSV + PSS)$ (Polania *et al.* 2016).

Peso seco de 100 semillas (PSCS). Se determinó el peso seco de 100 semillas de cada genotipo. Este es un indicador por lo general varía acorde al tamaño de la semilla.

Rendimiento (kg.ha⁻¹). Este dato se obtuvo con base en el rendimiento de 10 plantas por unidad experimental ajustado al 14% de humedad y una densidad de 142,857 plantas ha⁻¹.

Evaluación de la diversidad genética con marcadores moleculares RAPD. Las 19 líneas y los cinco testigos se sembraron en macetas de PVC (policloruro de vinilo) de 20 cm de diámetro en una casa de malla del PIF. Para la siembra de cada línea se pre-germinaron 20 semillas en papel Kraft humedecido con agua destilada. Dos días después se sembraron cinco semillas/maceta. A los 15 días después de siembra (DDS), en la etapa de desarrollo V2 con plantas con el primer trifolio desarrollado, se procedió a la toma de muestras para la extracción de ADN para realizar el diagnóstico molecular en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada del PIF, Zamorano.

Extracción de ADN. La extracción de ADN se llevó a cabo con el protocolo de la Universidad de Wisconsin Madison. Para dicha actividad se utilizaron brotes vegetativos de dos semanas de edad, las cuales se recolectaron como muestras individuales colocándolos en micro tubos Eppendorf de 1.5 mL, se agregó 50 µL de buffer PEX (etil xantogenato de potasio) y con la ayuda de una barra de plexiglass de laboratorio se procedió a macerar; seguidamente se le adicionó 450 µL de buffer PEX. Las muestras se colocaron en baño María a 65 °C por 60 minutos; para concentrar los residuos de tejido. Las muestras se centrifugaron a 14000 RPM (revoluciones por minuto) por 10 minutos. La precipitación de ácido nucleicos se llevó a cabo, llenando los tubos eppendorf con una mezcla 6:1; etanol: acetato de amonio 7.5 M (molaridad) por 30 minutos a temperatura ambiente; se peletizaron los ácidos nucleicos centrifugando las muestras a 3000 RPM durante 10 minutos. Se eliminó el sobrenadante, ya expuesto el tejido se les adicionó 300 µL de RNAsa (100 µg/mL), buffer TE (Tris-ácido etil-endiamino-tetraacético, EDTA) 0.1X, después se agitó las 24 muestras y se colocó en baño María a 37 °C por 1 hora para eliminar el ARN de las muestras. La tercera centrifugación se hizo a 14000 RPM por tres minutos para precipitar el ADN y lograr pellets más limpios y sin remanente de tejido. Después en unos tubos Eppendorf nuevos se llenó una mezcla de 10:1 etanol: acetato de sodio (3M). Se mezcló invirtiendo los tubos para permitir que se precipite el ADN a temperatura ambiente por 30 minutos. Para peletizar y precipitar el ADN de las muestras se centrifugaron a 3000 RPM por 5 minutos. El tejido de ADN, previamente lavado con etanol al 70% se centrifugó por 15 segundos a 14000 RPM y secado a temperatura ambiente por 3 horas. Se rehidrató con 100 µL de buffer TE 0.1X y se almacenó a -20 °C.

Cuantificación de ADN. Las muestras de las 24 líneas a cuantificar se obtuvieron mezclando el ADN (1 µL), el buffer TE 1X (99 µL) y la solución de trabajo (100 µL) en tubos termosensibles con capacidad de 0.5 ml. El equipo utilizado fue el fluorómetro Quantus®, previamente calibrado con dos muestras adicionales, el blanco y el ADN estándar. Para la preparación de la muestra blanco se mezcló el buffer TE 1X (100 µL) y la solución de trabajo (100 µL) en un tubo de 0.5 mL. La muestra estándar se obtuvo mezclando 2 µL de ADN Lambda, 98 µL de buffer TE 1X y 100 µL de solución de trabajo. Todas las muestras fueron incubadas durante cinco minutos a temperatura ambiente.

Cuadro 2. Cantidad representativa de solución de trabajo y solución buffer para la cuantificación de ADN de cada línea de frijol común.

Solución de Trabajo		Solución Buffer 1X	
Componentes	Cantidad	Componentes	Cantidad
Buffer TE 1X (µL)	100.0	Buffer TE 1X (µL)	99.0
Dye Quantiflour (µL)	0.5 [‡]	Error de Pipeteo 10% (µL)	1.0
Error de Pipeteo 10% (µL)	1.0		
Total	101.5	Total	100.0

[‡] Relación Dye Quantiflour – Buffer TE 1X (1:200)

Dilución de ADN. Las concentraciones de ADN para las muestras fluctuaron entre 45 y 268 ng/µL. La dilución se hizo en buffer TE 0.1X para un volumen de 100 µL a una concentración de 10 ng/µL. La finalidad fue estandarizar las muestras para que tuvieran igual probabilidad de ser amplificadas. La dilución se hizo mediante la ecuación [1]:

$$V_i = [(C_f \times V_f / C_i) - V_f] (-1) \quad [1]$$

V_i : Volumen inicial de buffer de dilución TE 0.1X (µL), C_f : Concentración final (ng/µL), V_f : Volumen final (100 µL), C_i : Concentración inicial (ng/µL).

Amplificación de ADN. El ADN se amplificó en un termociclador Techne Unit[®] TC-512 utilizando 10 iniciadores, primers o cebadores de 10 pares de bases (pb) para la identificación de la diversidad genética entre las líneas de estudio y testigos de frijol respectivamente (Cuadro 3), siguiendo el perfil térmico utilizado en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada para marcadores tipo RAPD (random amplified polymorphic DNA) (Cuadro 4).

Visualización de ADN (Electroforesis). Los productos de PCR fueron observados en geles de agarosa al 1.1% en solución tampón TBE 1X (Tris-HCl, pH 7.5, ácido bórico, EDTA) en tanques de electroforesis. Antes de la descarga de las muestras sobre los pozos del gel de agarosa, a cada muestra producto del PCR se le añadió 3 µL de buffer de carga (tinción). Se utilizó una escalera molecular de 100 pb (pares de bases) y las bandas fueron separadas en un Transphor/ Electrophoresis[®] de 2.5 amperios a 110 Voltios durante 1 h 15 min. Posteriormente, los geles de agarosa fueron sumergidos en una solución de TBE 1X mezclada con el tinte para ácidos nucleicos Diamond[®] a una concentración de 0.01% con la finalidad de teñir las bandas de ADN. La presencia de bandas de ADN se visualizó en el trans-iluminador Benchtop[®], UVP, modelo M- 26 VX (95-0413-01), con una longitud de onda de 302 nm. A los geles de agarosa se les tomó una fotografía con una cámara convencional bajo luz ultravioleta para registrar los resultados.

Cuadro 3. Cebadores (primers) usados para el análisis RAPD de 24 líneas de frijol evaluadas en ensayos de altas temperaturas.

N°	Primer	Tamaño (pb)	Secuenciación de avance (ADN - 5' a 3')	Peso molecular ($\mu\text{g}/\mu\text{mole}$)
1	OPAC-15	10	TGCCGTGAGA	3069
2	OPG-05	10	CTGAGACGGA	3078
3	OPH-08	10	GAAACACCCC	2967
4	OPR-02	10	CACAGCTGCC	2974
5	OPT-15	10	GGATGCCACT	3029
6	OPU-01	10	ACGGACGTCA	3038
7	OPU-19	10	GTCAGTGCGG	3085
8	OPV-10	10	GGACCTGCTG	3045
9	OPW-13	10	CACAGCGACA	3007
10	OPY-06	10	AAGGCTCACC	2998

Cuadro 4. Perfil térmico para amplificación aleatoria de ADN polimórfico por la técnica de RAPD (random amplified polymorphic DNA).

Fases	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Tiempo (segundos)	Ciclos
Desnaturalización inicial	95	60	
Desnaturalización	94	45	35
Acoplamiento	35	30	
Extensión	72	75	
Extensión final	72	300	1
Mantenimiento	15		∞

Protocolos de marcadores moleculares RAPD. Para llevar a cabo la reacción en cadena de la polimerasa (PCR por sus siglas en inglés), se preparó una mezcla maestra suficiente para cada primer (Cuadro 5). Se incorporó aceite mineral en cada pozo, con la intención de evitar la deshidratación de las muestras durante la fluctuación térmica del PCR. El sellado de la placa con las muestras se hizo con la ayuda de papel aluminio adhesivo.

Análisis de los datos de RAPD. Se analizaron las imágenes tomadas contabilizando las bandas polimórficas. A la presencia y ausencia de bandas se le dio valores de uno (1) y cero (0), respectivamente. Los datos fueron tabulados en Microsoft Excel[®], registrando la presencia y ausencia de bandas para cada uno de los primers. Para el procesamiento de datos multivariados y la elaboración del dendrograma, mediante el Coeficiente de Dice (CD), bajo el Método Jerárquico Aglomerativo UPGMA (siglas en inglés de Unweighted pair-group method with arithmetic) (Hernández *et al.* 2014), se usó el programa estadístico InfoStat[®] (Di Rienzo *et al.* 2015). El dendrograma nos permitió apreciar las diferencias genéticas entre genotipos (Figura 1).

Cuadro 5. Mezcla maestra necesaria para la PCR de las muestras de 24 líneas de frijol.

Componentes	Cantidad
Buffer 5X (μL)	39.0
dNTP's (μL)	39.0
Primer (μL)	15.6
<i>Taq</i> polimerasa (μL) ^ª	13.0
Agua bidestilada (μL)	88.4
Total	195.0 ^d

^ª Concentración basada en unidades enzimáticas (5 U/ μL)

^d Volumen total incluyendo error de pipeteo < 10%

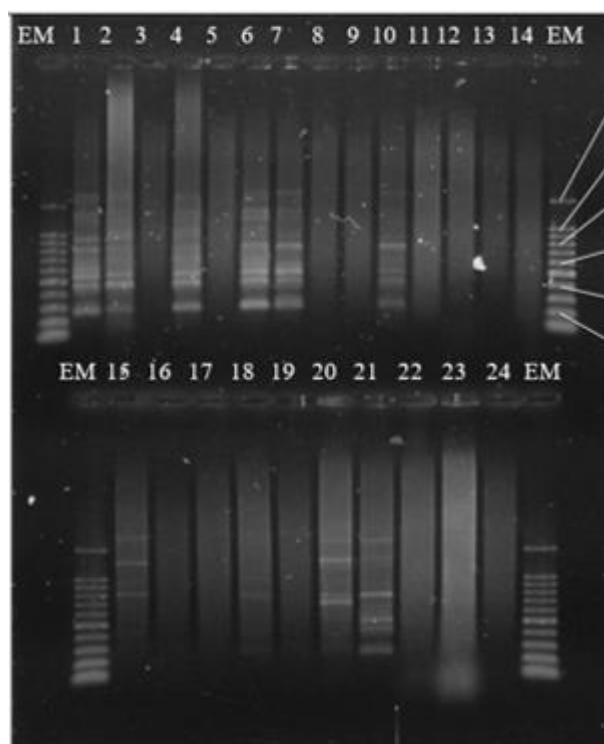


Figura 1. Distribución de bandas polimórficas de ADN en electroforesis del marcador RAPD OPU-01 generados de 24 líneas de frijol. EM (escalera molecular de 100 pb).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Postrera 2015. Evaluación de 24 líneas de frijol bajo condiciones de altas temperaturas durante los meses de octubre a diciembre. Las condiciones de temperatura máxima y mínimas durante la época de postrera del 2015 fueron de 36.8 °C (rango 31.1 – 40.6) y 22.2 °C (rango 17.6 – 25.1) respectivamente (Anexo 1), fueron consideradas favorables para la evaluación de la tolerancia de las líneas de frijol común al estrés de altas temperaturas. Bajo estas condiciones, se presentaron diferencias significativas entre las líneas de frijol para el rendimiento, IPV, IC y PSCS (Cuadro 6). Las líneas SJC 730-79, MHR 311-17 y MER 2212-2 con un rendimiento de 1,887, 1,178 y 1,125 kg ha⁻¹ respectivamente, no difirieron significativamente una de otra ni tampoco difirieron del testigo Tepari 22 con 1,265 kg ha⁻¹ (P>0.01), pero si difirieron significativamente del genotipo ALS 0546-9 que alcanzó un rendimiento de 60 kg ha⁻¹ (P≤0.01). El rendimiento promedio de postrera 2015 fue de 706 kg ha⁻¹.

Los mejores índices de partición de vainas (IPV) se observaron en las mismas líneas avanzadas de frijol que sobresalieron en rendimiento (SJC 730-79, MHR 311-17 y MER 2212-2), con valores de 0.34, 0.18 y 0.23 respectivamente, el testigo Tep 22 y la línea SB-DTI presentaron índices altos (0.34 y 0.33), que difirieron significativamente de ALS 0546-9 cuyo índice fue de 0.05 con una media 0.12 en general. La línea de menor eficiencia fue FBN 1208-06 que presentó un IPV de 0.03 sin diferir de ALS 0546-9. La variable de índice de cosecha presentó una media de 0.44, la línea ALS 0546-9 obtuvo el menor valor (0.11), diferenciándose significativamente de las tres mejores líneas (SJC 730-79, MHR 311-17 y MER 2212-2) que respondieron mejor con índices de 0.62, 0.59 y 0.61 respectivamente. El menor peso seco de cien semillas (PSCS) lo obtuvo la Tep 22 con un peso de 12.03 g, asimismo la mejor línea fue el USMR 20 con 25.9 g. El promedio de esta variable fue de 20.1 g.

Verano 2016. Evaluación de 24 líneas de frijol bajo condiciones de altas temperaturas durante los meses de febrero a abril. Las condiciones de temperatura máximas y mínimas durante la época de verano del 2016 fueron de 38.7 °C (rango 31.6 – 43.6) y 22.2 °C (rango 17.1 – 27.6), respectivamente (Anexo 1). En estas condiciones de altas temperaturas en la época de verano, se observaron diferencias significativas entre las líneas de frijol en rendimiento, IPV y PSCS (Cuadro 7). Las líneas Tep 22, FBN 1211-66 y SJC 730-79 con un rendimiento de 2,989, 2,455 y 2,177 kg ha⁻¹ respectivamente, fueron las líneas de mayor producción y no difirieron significativamente una de otra (P>0.01), pero si significativamente de la línea RS 909-35 (P≤0.01), que alcanzó un rendimiento de 150 kg ha⁻¹, siendo a su vez la línea de menor productividad. El rendimiento promedio del segundo ensayo fue de 1065 kg ha⁻¹.

Los mejores IPV se observaron en las líneas avanzadas de frijol USMR 20, IJR y el testigo Tep 22 con índices de 0.48, 0.46 y 0.64 respectivamente, no difiriendo significativamente uno de otro. El menor IPV se le atribuyó a la línea ALS 0532-6 con un índice de 0.02, y el promedio de la variable fue de 0.26. Las líneas de mayor producción sin incluir el Tep 22 (FBN 1211-66 y SJC 730-79) respondieron con índices de 0.37 y 0.30 respectivamente, difiriendo significancia ($P \leq 0.01$) en relación a la línea de menor IPV y línea de menor productividad RS 909-35 (IPV=0.03).

La variable de índice de cosecha (IC) presentó una media de 0.55, la línea RS 909-35 obtuvo el menor IC (0.37), no difiriendo significativamente de las mejores líneas de la variable (IJR, MEN 934-68 y Tep 22) con 0.69, 0.66 y 0.66 g respectivamente y mucho menos de las mejores líneas productivas FBN 1211-66 y SJC 730-79 con 0.62 y 0.64 g respectivamente. El menor peso seco de cien semillas (PSCS) lo obtuvieron las líneas Tep 22 y RS 909-35 con un peso de 12.3 y 12.8 g respectivamente; las líneas de mayor peso seco fueron el USMR 20 y SJC 730-79 con 31.9 y 24.6 g, difirieron significativamente de las líneas de menor peso seco ($P \leq 0.01$).

Cuadro 6. Comportamiento en el rendimiento (kg ha^{-1}), índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de cien semillas (PSCS) de 24 líneas de frijol bajo altas temperaturas en la época de postrera 2015 (Octubre-Diciembre). Nacaome, Honduras.

Genotipo	Rendimiento Kg.ha^{-1}	IPV	IC	PSCS
SJC 730-79	1,887 A	0.34 A	0.62 A	22.7 ABC
Tep 22	1,265 AB	0.34 A	0.49 ABCD	12.0 K
MHR 311-17	1,178 ABC	0.18 BC	0.59 AB	22.6 ABCD
MER 2212-28	1,125 ABCD	0.23 AB	0.61 AB	24.4 AB
FBN 1211-66	1,119 ABCD	0.07 CD	0.47 ABCD	21.2 BCDE
ALS 0532-6	1,093 ABCD	0.12 BCD	0.57 AB	21.6 BCD
BRT 103-182	965 BCDE	0.08 CD	0.54 AB	22.8 ABC
SB-DT1	959 BCDE	0.33 A	0.51 ABCD	22.0 BCD
MEN 934-29	945 BCDE	0.14 BCD	0.55 AB	19.7 CDEFG
BRT 943-20	816 BCDEF	0.07 CD	0.54 AB	21.5 BCD
MEN 934-28	769 BCDEF	0.10 BCD	0.49 ABCD	17.7 EFGHI
Amadeus 77	748 BCDEF	0.13 BCD	0.48 ABCD	24.4 AB
BIOF 4-70	589 BCDEF	0.08 CD	0.53 AB	16.1 HIJ
MEN 934-68	488 BCDEF	0.06 CD	0.47 ABCD	15.4 IJK
Beniquez	467 BCDEF	0.09 CD	0.44 ABCD	14.2 JK
SEN 52	426 CDEF	0.13 BCD	0.52 ABC	22.8 ABC
SMN 26	419 CDEF	0.08 CD	0.36 ABCDE	16.9 GHIJ
RS 909-35	418 CDEF	0.04 CD	0.24 DE	20.7 CDEF
MEN 934-38	335 DEF	0.08 CD	0.40 ABCD	19.2 DEF GH
FBN 1208-64	328 DEF	0.03 D	0.40 ABCD	17.3 FGHIJ
IJR	307 DEF	0.13 BCD	0.35 BCDE	25.5 A
USMR 20	172 EF	0.04 CD	0.25 CDE	25.9 A
SEF 70	79 F	0.06 CD	0.13 E	16.1 HIJ
ALS 0546-97	60 F	0.05 CD	0.11 E	20.9 CDE
Promedio	706	0.12	0.44	20.1
CV (%)	82.5	82.6	43.1	12.1
DMS	413**	0.07**	0.13**	1.7**

**Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Cuadro 7. Comportamiento en el rendimiento (kg.ha⁻¹), índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de cien semillas (PSCS) de 24 líneas de frijol bajo altas temperaturas en la época de verano 2016 (Febrero-Abril). Nacaome, Honduras.

Líneas	Rendimiento Kg.ha ⁻¹	IPV	IC	PSCS
Tep 22	2,989 A	0.64 A	0.66 AB	12.3 G
FBN 1211-66	2,455 AB	0.37 BCD	0.62 AB	17.4 BCDEFG
SJC 730-79	2,177 ABC	0.30 BCDE	0.64 AB	24.6 AB
MEN 934-68	1,815 ABCD	0.18 DEFGHI	0.66 AB	22.6 BDCE
Beniquez	1,414 ABCD	0.22 DEFGHI	0.48 AB	16.2 CDEFG
IJR	1,319 ABCD	0.46 ABC	0.69 A	21.9 BCDE
SB-DT1	1,205 ABCD	0.32 BCDE	0.62 AB	18.4 BCDEFG
MER 2212-28	1,190 ABCD	0.24 DEFGH	0.60 AB	17.5 BCDEFG
MHR 311-17	1,050 ABCD	0.25 CDEFGH	0.57 AB	20.6 BCDEF
BIOF 4-70	1,038 BCD	0.18 DEFGHI	0.56 AB	24.4 AB
SEF 70	984 BCD	0.08 FGHI	0.55 AB	21.1 BCDE
SEN 52	960 BCD	0.31 BCDE	0.58 AB	23.6 BC
MEN 934-28	930 BCD	0.24 DEFGHI	0.43 AB	16.4 CDEFG
SMN 26	885 BCD	0.29 BCDEF	0.62 AB	16.3 CDEFG
USMR 20	852 BCD	0.48 AB	0.54 AB	31.9 A
MEN 934-29	748 BCD	0.27 BCDEFG	0.54 AB	15.2 DEFG
ALS 0546-97	715 BCD	0.27 BCDEFG	0.61 AB	20.1 BCDEFG
Amadeus 77	619 BCD	0.35 BCD	0.53 AB	23.1 BCD
BRT 103-182	496 CD	0.28 BCDEFG	0.40 AB	20.4 BCDEF
MEN 934-38	485 CD	0.22 DEFGHI	0.47 AB	13.0 FG
ALS 0532-6	419 CD	0.02 I	0.58 AB	13.0 FG
BRT 943-20	392 CD	0.13 EFGHI	0.57 AB	20.0 BCDEFG
FBN 1208-64	282 CD	0.07 GHI	0.47 AB	14.9 EFG
RS 909-35	150 D	0.03 HI	0.37 B	12.8 FG
Promedio	1065	0.26	0.55	19.1
CV (%)	88.3	40.9	25.9	19.9
DMS	940**	0.11**	0.14 ^{ns}	3.8**

**Altamente significativo (P≤0.01); ^{ns} No significativo.

Comparaciones de las épocas de postrera 2015 y verano 2016. No se presentaron diferencias entre las dos épocas de siembra para el rendimiento e IC de las líneas de frijol; pero si fueron significativas en el IPV e IC (Cuadro 8). Las diferencias en las líneas fueron significativas para rendimiento, IPV y PSCS; y en la interacción época x línea sólo en el IPV y PSCS.

Cuadro 8. Comportamiento del rendimiento (kg ha⁻¹), índice de partición de vainas (IPV), índice de cosecha (IC) y peso seco de 100 semillas (PSCS) de las 24 líneas de frijol de los ensayos conducidos en las épocas de postrera del 2015 y verano del 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Honduras.

Factor	Rendimiento Kg.ha⁻¹	IPV	IC	PSCS
<u>Época</u>				
Postrera 2015	706	0.11	0.44	20.1
Verano 2016	1,065	0.24	0.55	19.1
Valor P	0.44 ^{ns}	0.00**	0.08 ^{ns}	0.32 ^{ns}
<u>Genotipo</u>				
Promedio	886	0.19	0.50	19.6
Valor P	0.04**	0.00**	0.11 ^{ns}	0.00**
<u>Época × Genotipo</u>				
Promedio	886	0.19	0.50	19.6
Valor P	0.78 ^{ns}	0.03*	0.26 ^{ns}	0.01**

^{ns} No significativo; * significativo (P≤0.05); ** altamente significativo (P≤0.01).

Rendimiento. En las épocas de postrera 2015 como en verano 2016 se observaron diferencias significativas (P≤0.01) entre una línea y otra, durante la colecta de frijol Tep 22, tuvo una producción muy diferente entre una época a otra producto de las precipitaciones de postrera (Anexo 2); esto se le puede atribuir a daños de *Fusarium spp.* que sumado las lluvias pueden provocar pudriciones radiculares en frijol tepari y su posible muerte (Jiménez y Acosta 2012). Este genotipo obtuvo el mejor rendimiento promedio con 2127 kg ha⁻¹, también fueron de alto rendimiento líneas como SJC 730-79, FBN 1211-66 y MER 2212-28, que obtuvieron rendimientos promedio de 2032,1787 y 1157 kg ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 9). Es importante señalar que la variación de rendimiento de una época a otra (postrera a verano) dice mucho de la estabilidad productiva de un genotipo. En este caso la línea de producción más estable fue MER 2212-28 con una variación del 5.8 %, seguida de la línea SJC 730-79 cuya variación fue 15.3%. El Tep 22 por su parte tuvo un incremento de producción de 136.3% en verano en comparación a postrera, esto se debió a su alta adaptabilidad a ambientes cálidos y a altas temperaturas así como a bajos requerimientos de humedad (Soto *et al.* 2005), que favoreció positivamente a la expresión de su potencial. Por otra parte se puede contemplar la posibilidad de hacer cruces, líneas con mejor respuesta en verano, con líneas de buen rendimiento y desempeño en invierno con la finalidad de reducir la variación de rendimiento de una época a otra.

Índice de partición de vaina (IPV). Durante las épocas de postrera 2015 y verano 2016, la línea que expresó un mayor IPV en promedio, fue el Tep 22 con un índice de 0.49, seguido de otras líneas como SB-DT1, SJC 730-79 e IJR (Indeterminated Jamaica Red) con índices de 0.32, 0.32 y 0.30 respectivamente (Cuadro 10). Se observó que existen líneas que destinan un mayor o menor porcentaje de materia seca (MS) a la formación de vainas, la líneas de Tep 22 e IJR concentraron un mayor porcentaje de MS en condiciones de verano, cuando se registraron temperaturas máximas promedio de 38.7 °C (+1.9 °C postrera), mínimas promedio de 22.9 °C (+0.7 °C postrera).

Índice de cosecha (IC). En la época postrera 2015, la línea de mayor conversión de MS de vainas a grano fue SJC 730-79 con un índice de 0.62, en la época verano 2016 la línea con mayor índice fue el Tep 22 con 0.66. La mejor movilización de MS de vaina a grano en las dos épocas de siembra, lo obtuvo la línea SJC 730-79 con un promedio de IC de 0.63 (Cuadro 11) la variación fue mínima lo cual le confiere atributos como óptimo desempeño bajo diferentes condiciones de campo.

Peso seco de cien semillas (PSCS). En la época postrera 2015 y verano 2016 la línea que mostró un mayor peso en grano fue el USMR 20, con un peso promedio de 28.9 g y una variación de 23.2% de postrera a verano 2016 (25.9 g el 2015 y 31.9 g el 2016), otras líneas de buen peso de grano fueron el Amadeus 77, IJR y SJC 730-79 con un peso de 23.7 g, la variabilidad de peso de grano entre un año y otro fue fluctuante para líneas como Amadeus 77 e IJR, más no para SJC 730-79, que tuvo una variabilidad de 8.3% y menos aún para SEN 52 que tuvo una variabilidad de 3.7% (Cuadro 12). La línea de menor peso de 100 semillas fue el Tep 22 con 12.2 g, típico de la especie *Phaseolus acutifolius*, pero fue la línea que presenta la mayor estabilidad de su peso en grano con una variabilidad de 2.3% de una época de siembra a otra.

Cuadro 9. Rendimiento (kg ha⁻¹) de las 24 líneas de frijol evaluadas en los ensayos postrera 2015 y verano 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Honduras.

Genotipo	Postrera 2015	Verano 2016	Variación (%)	Promedio
Tep 22	1,265	2,989	136.3	2,127
SJC 730-79	1,887	2,177	15.3	2,032
FBN 1211-66	1,119	2,455	119.3	1,787
MER 2212-28	1,125	1,190	5.8	1,157
MEN 934-68	488	1,815	271.8	1,151
MHR 311-17	1,178	1,050	-10.9	1,114
SB-DT1	959	1,205	25.7	1,082
Beniquez	467	1,414	202.6	941
MEN 934-28	769	930	21.0	849
MEN 934-29	944	748	-20.9	846
BIOF 4-70	589	1,038	76.2	813
IJR	307	1,319	329.5	813
ALS 0532-6	1,093	419	-61.7	756
BRT 103-182	965	496	-48.6	730
SEN 52	426	960	125.3	693
Amadeus 77	748	619	-17.3	683
SMN 26	419	885	111.4	652
BRT 943-20	816	392	-52.0	604
SEF 70	79	984	1148.7	531
USMR 20	172	852	395.3	512
MEN 934-38	335	485	44.7	410
ALS 0546-97	60	715	1090.8	387
FBN 1208-64	328	282	-14.3	305
RS 909-35	418	150	-64.2	284
Promedio				826
CV (%)				84.4
DMS				402**

**Altamente significativo ($P \leq 0.01$)

Cuadro 10. Índice de partición de vainas (IPV) de 24 líneas de frijol evaluadas en las épocas de postrera del 2015 y verano 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Honduras.

Genotipo	Postrera 2015	Verano 2016	Promedio
Tep 22	0.34	0.64	0.49
SB-DT1	0.33	0.32	0.32
SJC 730-79	0.34	0.30	0.32
IJR	0.13	0.46	0.30
USMR 20	0.04	0.48	0.26
Amadeus 77	0.13	0.35	0.24
MER 2212-28	0.23	0.24	0.24
FBN 1211-66	0.07	0.37	0.22
SEN 52	0.13	0.31	0.22
MHR 311-17	0.18	0.25	0.21
MEN 934-29	0.14	0.27	0.20
SMN 26	0.08	0.29	0.18
BRT 103-182	0.08	0.28	0.18
MEN 934-28	0.10	0.24	0.17
ALS 0546-97	0.05	0.27	0.16
Beniquez	0.09	0.22	0.15
MEN 934-38	0.08	0.22	0.15
BIOF 4-70	0.08	0.18	0.13
MEN 934-68	0.06	0.18	0.12
BRT 943-20	0.07	0.13	0.10
ALS 0532-6	0.12	0.02	0.07
SEF 70	0.06	0.08	0.07
FBN 1208-64	0.03	0.07	0.05
RS 909-35	0.04	0.03	0.03
Promedio			0.17
CV (%)			67.8
DMS			0.07**

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Cuadro 11. Índice de cosecha (IC) de 24 líneas de frijol evaluadas en las épocas de postrera del 2015 y verano 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Honduras.

Genotipo	Postrera 2015	Verano 2016	Promedio
SJC 730-79	0.62	0.64	0.63
MER 2212-28	0.61	0.60	0.60
MHR 311-17	0.59	0.57	0.58
ALS 0532-6	0.57	0.58	0.57
Tep 22	0.49	0.66	0.57
MEN 934-68	0.47	0.66	0.56
SB-DT1	0.51	0.62	0.56
BRT 943-20	0.54	0.57	0.55
MEN 934-29	0.55	0.54	0.55
SEN 52	0.52	0.58	0.55
FBN 1211-66	0.47	0.62	0.54
BIOF 4-70	0.53	0.56	0.54
IJR	0.35	0.69	0.52
Amadeus 77	0.48	0.53	0.51
SMN 26	0.36	0.62	0.49
BRT 103-18	0.54	0.40	0.47
MEN 934-28	0.49	0.43	0.46
Beniquez	0.44	0.48	0.46
MEN 934-38	0.40	0.47	0.43
FBN 1208-64	0.40	0.47	0.43
USMR 20	0.25	0.54	0.40
ALS 0546-97	0.11	0.61	0.36
SEF 70	0.13	0.55	0.34
RS 909-35	0.24	0.37	0.31
Promedio			0.48
CV (%)			37.5
DMS			0.1**

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Cuadro 12. Peso seco de 100 semillas (PSCS) de 24 líneas de frijol evaluadas en las épocas de postrera del 2015 y verano 2016 bajo condiciones de altas temperaturas. Nacaome, Honduras.

Genotipo	Postrera 2015	Verano 2016	Variación (%)	Promedio
USMR 20	25.9	31.9	-6.0	28.9
Amadeus 77	24.4	23.1	1.3	23.7
IJR	25.5	21.9	3.6	23.7
SJC 730-79	22.7	24.6	-1.9	23.7
SEN 52	22.8	23.6	-0.9	23.2
MHR 311-17	22.6	20.6	2.0	21.6
BRT 103-182	22.8	20.4	2.4	21.6
MER 2212-28	24.4	17.5	6.9	20.9
BRT 943-20	21.5	20.0	1.5	20.7
ALS 0546-97	20.9	20.1	0.8	20.5
SB-DT1	22.0	18.4	3.6	20.2
BIOF 4-70	16.1	24.4	-8.3	20.3
FBN 1211-66	21.2	17.4	3.8	19.3
MEN 934-68	15.4	22.6	-7.2	19.0
SEF 70	16.1	21.1	-5.0	18.6
MEN 934-29	19.7	15.2	4.5	17.4
ALS 0532-6	21.6	13.0	8.6	17.3
MEN 934-28	17.7	16.4	1.3	17.1
RS 909-35	20.7	12.8	7.9	16.7
SMN 26	16.9	16.3	0.6	16.6
MEN 934-38	19.2	13.0	6.2	16.1
FBN 1208-64	17.3	14.9	2.4	16.1
Beniquez	14.2	16.2	-2.0	15.2
Tep 22	12.0	12.3	-0.3	12.2
Promedio				19.8
CV (%)				17.4
DMS				1.9**

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Correlaciones de rendimiento (kg ha^{-1}) - índice de cosecha (IC) y rendimiento – índice de partición de vainas (IPV) para las épocas de postrera 2015 y verano 2016. En las relaciones de dependencia de rendimiento en base al IC, se observó que para las dos épocas de siembra hubo una correlación directa, al presentarse valores “r” de 0.71 y 0.68 respectivamente (Figura 2, Anexo 4), lo cual denota un alto grado de significancia ($P \leq 0.01$) por estar a valores superiores de correlación mínima dictada por los 23 grados de libertad ($DF = 23$; $P \leq 0.05$ $r = 0.396$; $P \leq 0.01$ $r = 0.505$) natural del estudio (Steel y Torrie 1960). Dichos resultados se repitieron para la medición de correlación de rendimiento e índice de partición de vainas (IPV), donde la relación siguió siendo directa y altamente significativa para ambas épocas de estudio (Figura 3).

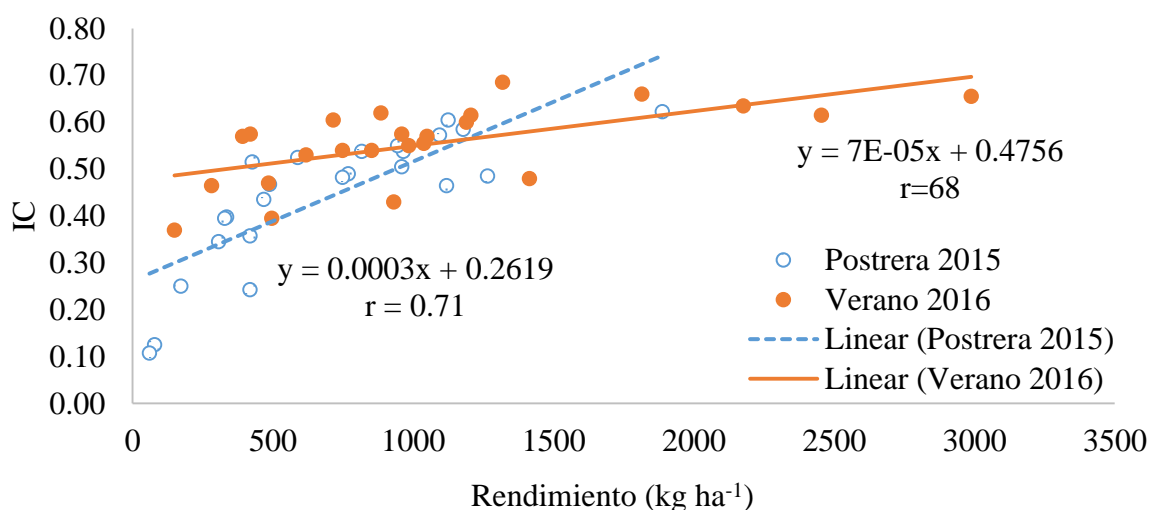


Figura 2. Correlación entre rendimientos (kg ha^{-1}) e índice de cosecha (IC) de 24 líneas de frijol en dos épocas de siembra (postrera 2015 y verano 2016).

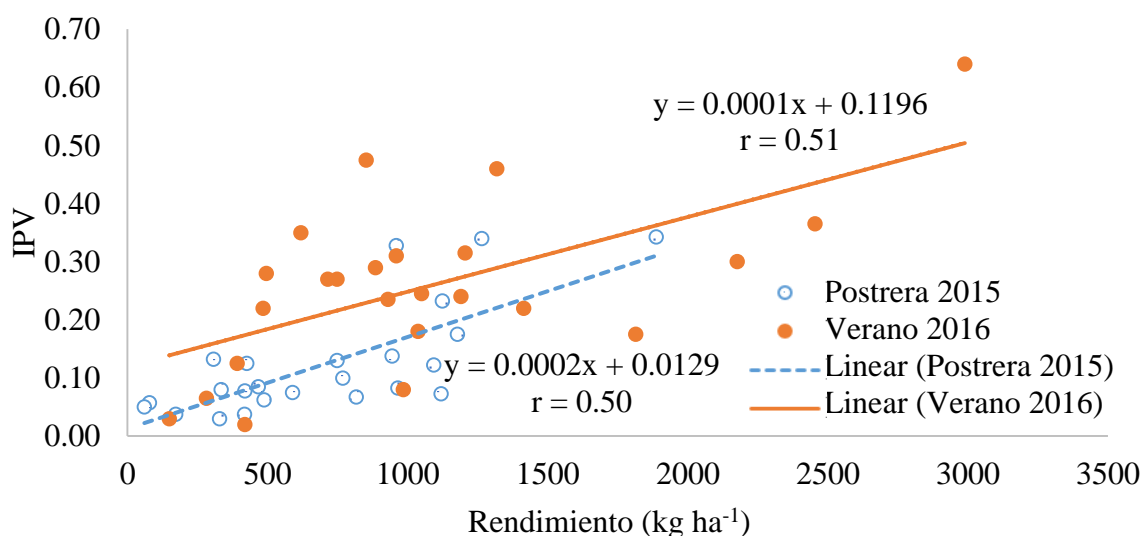


Figura 3. Correlación entre rendimientos (kg ha^{-1}) e índice de partición de vainas (IPV) de 24 líneas de frijol en dos épocas de siembra (postrera 2015 y verano 2016).

Caracterización molecular de las líneas de frijol mediante RAPD. Los 10 primers utilizados en el análisis molecular mediante la técnica de RAPD generaron diferentes cantidades de bandas polimórficas, siendo el OPR-02 el mayor con 122 bandas polimórficas presentes y OPG-05 el menor con 5 bandas. Con los valores de ausencia o presencia de bandas polimórficas en los 24 genotipos analizados y mediante el análisis UPGMA se generó un dendrograma (Figura 4).

Los genotipos se aglomeraron en 4 subgrupos con coeficientes de Dice (CD) mayores a 0.57. El subgrupo C1 incluye a Beniquez solamente (CD= 0.70). Tep 22, SEN 52 e IJR fueron aparecen en el subgrupo C2 (CD= 0.64), en el subgrupo C3 sólo incluye al genotipo MEN 934-29 (CD= 0.61) y el subgrupo C4 abarcó los 19 genotipos restantes (CD= 0.57).

La importancia de saber que tan distante o próximo está una línea de otra es fundamental para hacer futuros cruces. De las 24 líneas estudiadas se escogieron tres, que presentaron una alto potencial productivo ante condiciones de estrés en ambos ensayos, asimismo su selección estuvo sujeto a variables como IPV, IC, PSCS y porcentaje de variabilidad de una época a otra (postrera a verano), esta última variable se consideró solo para la elección de líneas de cruza, se pretende generar no solo líneas tolerantes a altas temperaturas sino también de producción estable durante gran parte del año.

4. CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones de altas temperaturas en el Sur de Honduras para las épocas de siembra de postrera del 2015 y verano del 2016, se encontraron diferencias significativas en cuanto a rendimiento, índice de partición de vainas, índice de cosecha y el peso de semillas de las 24 líneas de frijol.
- Las líneas de frijol común SJC 730-79 y FBN 1211-66, y el tepari Tep 22 (*P. acutifolius*) fueron superiores en rendimiento, mostrando tolerancia y buena adaptación a las altas temperaturas.
- La línea SJC 730-79 liberada en El Salvador (CENTA EAC) presenta tolerancia a sequía y resistencia a virus, y que al atribuirle tolerancia a altas temperaturas puede facilitar su validación en finca en Honduras.
- La línea FBN 1211-66 al ser resistente a virus, tolerante a condiciones de bajo fertilidad y al atribuirle tolerancia a altas temperaturas lo convierte en una línea con alto potencial agronómico.
- Los rendimientos de las líneas superiores bajo altas temperaturas del estudio fueron similares a los que se obtienen en ensayos con condiciones favorables, lo que evidencia el potencial genético de estas líneas como variedades y progenitores.
- Los análisis moleculares de distancia genética permitieron determinar que las líneas del estudio son genéticamente diversas y las de comportamiento superior pueden ser usadas para la ampliación de la base genética para fines de mejoramiento.
- La línea Tep 22 es una alternativa potencial para condiciones muy extremas de altas temperaturas donde no se pueda generar una variedad de frijol común para esas condiciones.

5. RECOMENDACIONES

- Continuar evaluando otras fuentes de germoplasma provenientes de otros programas para identificar otras fuentes de tolerancia a las altas temperaturas.
- Validar las líneas de frijol común tolerantes a altas temperaturas SJC 730-79 y FBN 1211-66 identificadas en el estudio, para su uso potencial como variedades comerciales en Honduras y Centro América.
- Continuar los procesos de selección en las poblaciones desarrolladas mediante cruzamientos de las líneas tolerantes para desarrollar líneas recombinantes con tolerancia a altas temperaturas y otros caracteres agronómicos y de calidad deseables.
- Se recomienda utilizar la línea de frijol tepari Tep 22 como cultivo alternativo en condiciones extremas de altas temperaturas y sequía, asimismo como progenitor en cruza con líneas de frijol común como SJC 730-79.

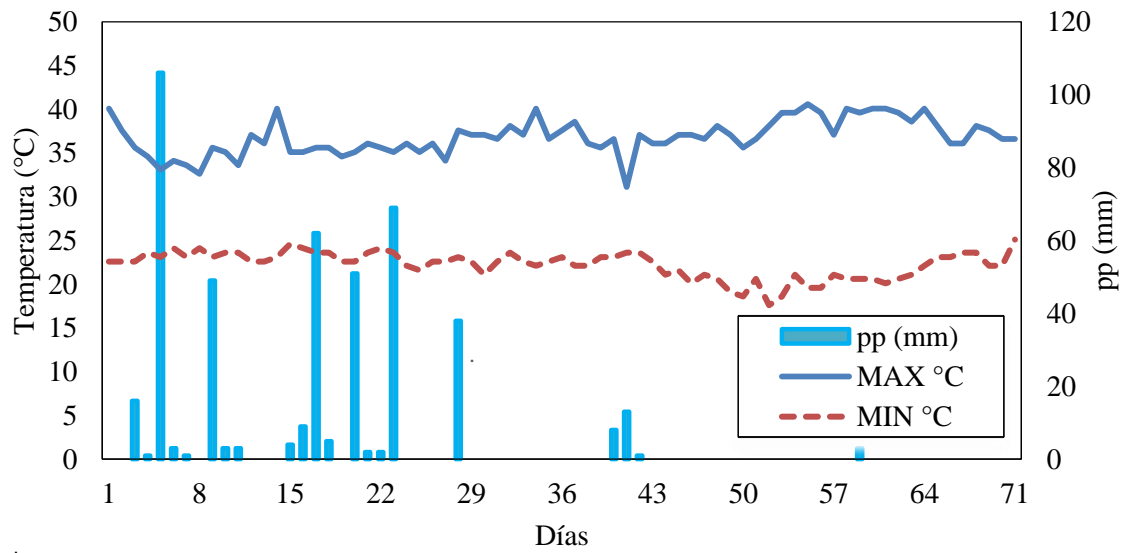
6. LITERATURA CITADA

- Beebe, S., R. Idupulapati., M. Blair y J. Acosta. 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*. 4. 35 p. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2013.00035>. DOI:10.3389/fphys.2013.00035.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M. y Robledo C.W. 2015. InfoStat 2015. Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Grupo InfoStat. <http://www.infostat.com.ar/index.php>.
- Granda, D., J. Ferrufino., A. Saavedra., D. Viana. y A. Munguía. 2007. Mapeo de las cadenas agroalimentarias de maíz blanco y frijol en Centroamérica. IICA, Managua (Nicaragua). Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Managua (Nicaragua). Proyecto de Investigación Agrícola-RED SICTA, Managua (Nicaragua) ISBN 13: 978-92-9039-794-6. (Es).
- Hernández, C.J., R.G. García., D.G. García. y I.B. Lugo., 2014. Caracterización de germoplasma nativo de frijol con base en marcadores moleculares y atributos de calidad. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 5(2):253–264 p. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4806706.pdf>.
- Jiménez, J.C. y J.A. Acosta. 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 p. Español. <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263124770007.pdf>.
- Kadirvel, P., S. Senthilvel., S. Geethanjali., M. Sujatha. y K.S. Varaprasad. 2015. Genetic Markers, Trait Mapping and Marker-Assisted Selection in Plant Breeding. *In*: B. Bahadur., R.M. Venkat., L. Sahijram. y K.V. Krishnamurthy., (ed.). *Plant biology and biotechnology: Plant genomics and biotechnology*. Springer. p. 65–88.
- Lennox, J., D. Ramírez., J. Olivares., H.E. Beteta., B. Urra., J. Samaniego., L.M. Galindo. y J. Ferrer. 2013. Impactos potenciales del cambio climático sobre los granos básicos en Centroamérica. *In*. M.E. Urzúa. (ed.). *With assistance of CEPAL, SICA y Secretary Ejective CAC*. CEPAL. http://repositorio.cepal.org/bitstream/11362/27171/1/M20130042_es.pdf.

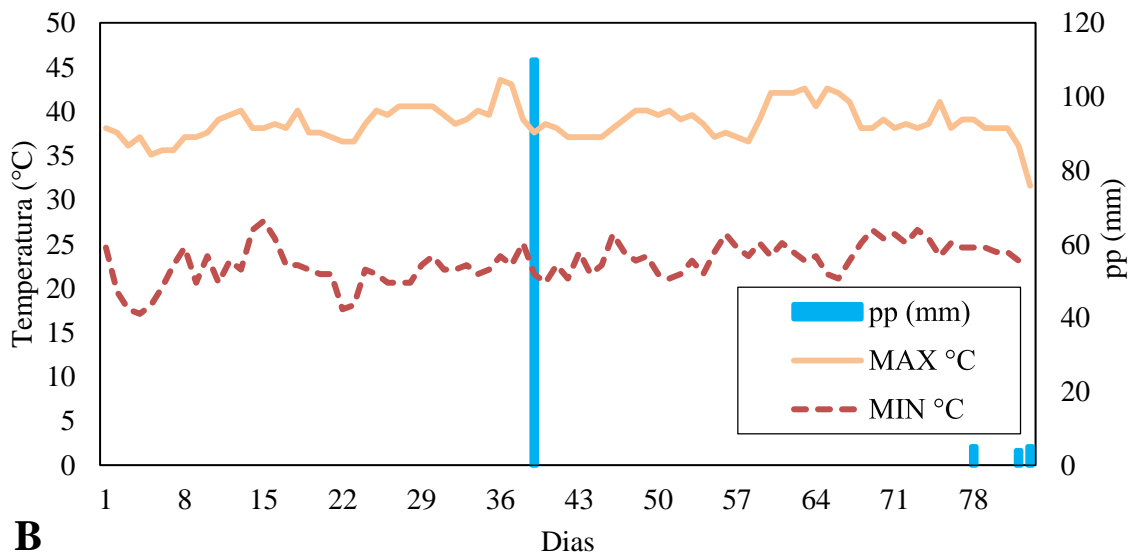
- Polanía, J., I.M. Rao., C. Cajiao., M. Rivera., B. Raatz. y S. Beebe. 2016. Physiological traits associated with drought resistance in Andean and Mesoamerican genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*. 210(1):17–29 p. DOI:10.1007/s10681-016-1691-5.
- Polanía, J.A., N. Chavez., C. Cajiao., S.E. Beebe. y I.M. Rao. 2014. Evaluación e identificación de líneas de frijol común *Phaseolus vulgaris* L. tolerantes a altas temperaturas. Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/67047/Evaluaci%c3%b3n_e_identificacion_de_lineas_de_frijol.pdf.
- Rosas, J.C. 2003. El cultivo del frijol común en América tropical. <https://dialnet.zamorano.edu/handle/11036/2424>.
- Rosas, J.C. 2011. Contribuciones del Programa de Investigaciones en Frijol en Centro América y El Caribe. *Ceiba: A Scientific and Technical Journal*. 52(1):65–73 p.
- Rosas, J.C., A. Castro., J.S. Beaver., C.A. Pérez, A.M. Garcés. y R.L. Idelfonso. 2000. Mejoramiento genético para tolerancia a altas temperaturas y resistencia a mosaico dorado en frijol común. *Agronomía Mesoamericana*. 11(1):1–10 p. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5039620.pdf>.
- Sneath, P.H.A. y R.R. Sokal. 1973. *Numerical taxonomy, the principles and practice of numerical classification*. San Francisco. US. Freeman.
- Soto J.L.L., J.A.R. Corral., J.J.S. González. y R.L. Ildefonso. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus spp.*) en la República Mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28(3):221–230 p. Es. <http://www.redalyc.org/pdf/610/61028306.pdf>.
- Steel, R. G. D. y J.H. Torrie. 1960. *Principles and procedures of statistics: With special reference to the biological sciences*. New York, US: McGraw-Hill. 519.5 S314 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Condiciones de temperatura y precipitación pluvial durante la época de postrera 2015 (A) y verano 2016 (B). Nacaome, Honduras.

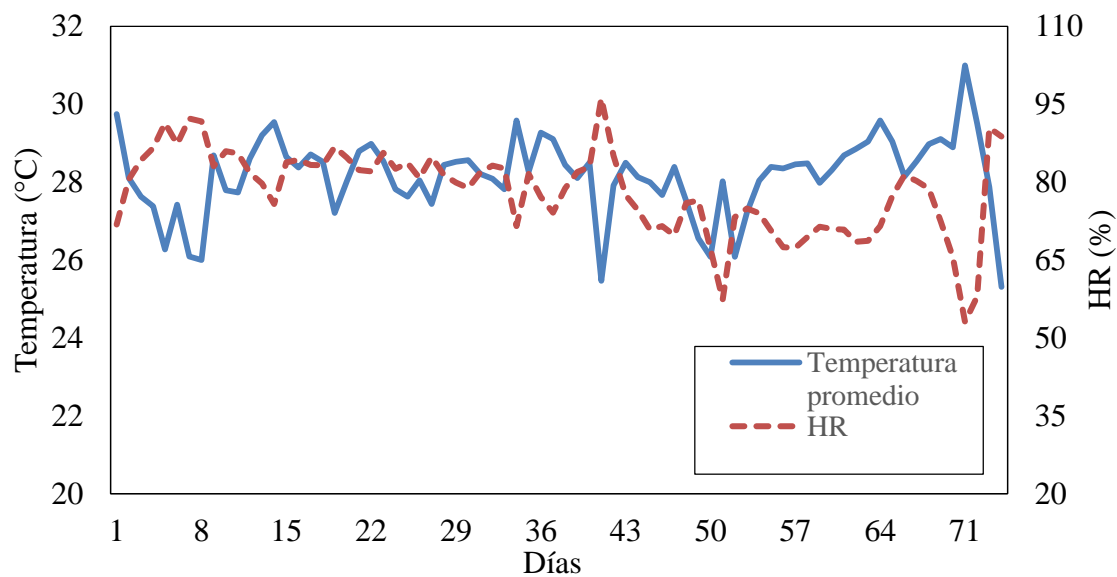


A

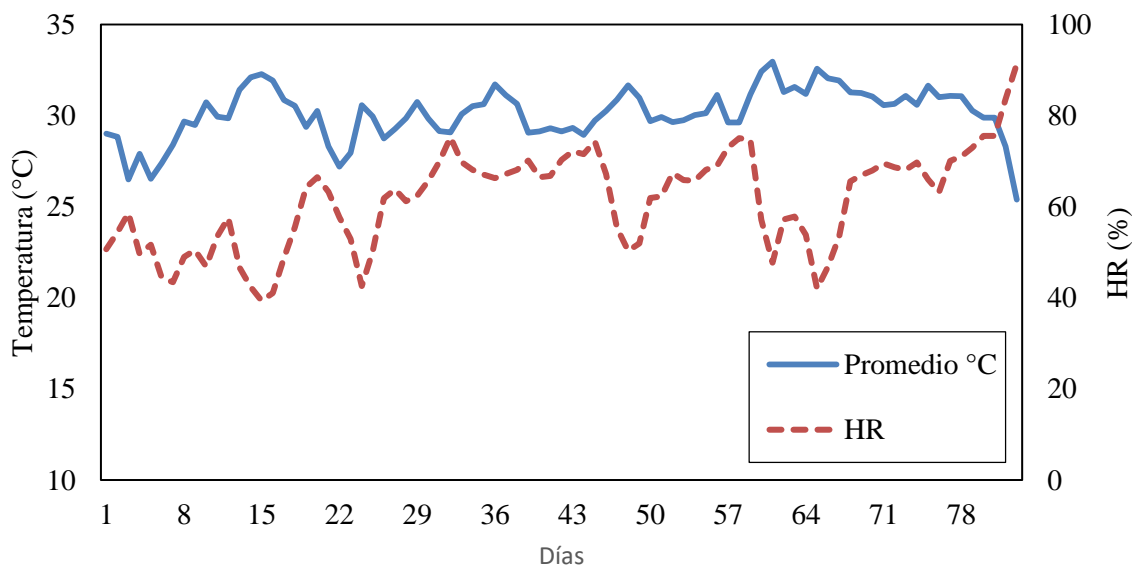


B

Anexo 2. Fluctuación de temperatura promedio y humedad relativa durante la época de postrera 2015 (A) y verano 2016 (B). Nacaome, Honduras.

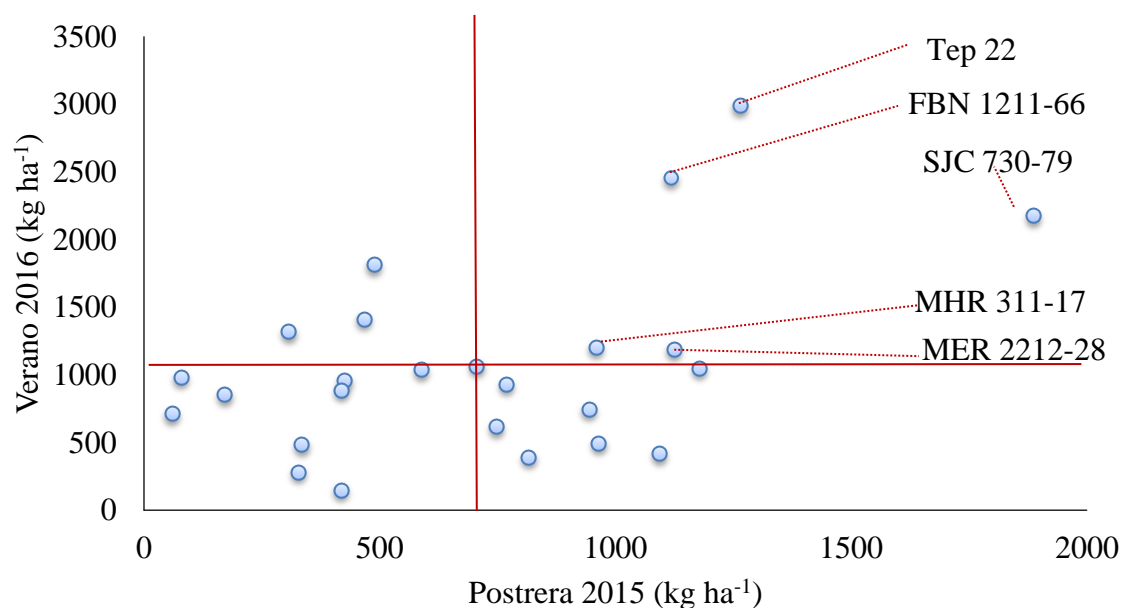


A



B

Anexo 3. Distribución del rendimiento bajo condiciones de altas temperaturas de 24 líneas de frijol en dos épocas de siembra. Nacaome,



Anexo 4. Correlaciones (Pearson) de las variables medidas en 24 líneas de frijol durante la postrera 2015. Nacaome, Honduras, 2015.

Variable	Rendimiento			
	PSCS	(kg.ha ⁻¹)	IPV	IC
kg ha ⁻¹	-0.16ns			
IPV	0.44*	0.50**		
IC	-0.08ns	0.71**	0.33ns	
PSCS	-0.01ns	0.23ns	0.05ns	0.19ns

DF=23, $P \leq 0.05$ ($r = 0.396$), $P \leq 0.01$ ($r = 0.505$). Peso de 100 semilla (PSCS), índice de partición de vaina (IPV), índice de cosecha (IC).

Anexo 5. Correlaciones (Pearson) de las variables medidas en 24 líneas de frijol durante el verano. Nacaome, Honduras, 2016.

Variable	Rendimiento			
	PSCS	(kg.ha ⁻¹)	IPV	IC
kg ha ⁻¹	0.07			
IPV	-0.39*	0.51**		
IC	0.01	0.68**	0.38	
PSCS	0.15	0.16	0.27	0.34

DF=23, $P \leq 0.05$ ($r = 0.396$), $P \leq 0.01$ ($r = 0.505$). Peso de 100 semilla (PSCS), índice de partición de vaina (IPV), índice de cosecha (IC).

