

Aborto de estructuras reproductivas de cultivares de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) evaluadas en cuatro localidades de Venezuela

Petra Madriz^{*1}, Rosemary Warnock¹, América Trujillo¹ y María Morros²

¹Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apartado 4579. Maracay 2101, Aragua, Venezuela. ²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas del estado Lara. Barquisimeto, Venezuela.

RESUMEN

La producción de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), una de las leguminosas de grano más importantes en Venezuela, se ve mermada por condiciones ambientales como las temperaturas altas. En el presente trabajo se propuso cuantificar el aborto de flores y frutos de plantas de caraota y las relaciones de éstos con las variaciones climáticas, principalmente la temperatura, en seis zonas productivas del país. Se realizaron cuatro ensayos en dos localidades del estado Lara (Palo Verde y Sanare, > 1000 msnm) y dos en Carabobo (Samán Mocho y Montalbán, < 650 msnm), donde se registraron las condiciones climáticas. En los cultivares 'Tacarigua', 'Magdaleno', 'La Palma', 'Sel4', 'Sel7', 'Sel10', 'Sel12', 'Sel13' y 'L140' y 'Colombiana' se evaluó el aborto de flores, frutos, óvulos y semillas, colocando cestas receptoras de malla tipo tul, en 12 plantas/m². En la cosecha se contaron por planta, vainas totales, llenas, vanas y su longitud, número de espacios en las vainas, presencia y tipo de semillas. Se efectuaron análisis de varianza y correlación entre aborto de flores, de frutos, vainas totales y rendimiento. El aborto de flores y vainas fue mayor en la zona baja (8- 45 flores/m²; 8- 47 vainas/m²) asociado a temperaturas altas. Los cultivares variaron en aborto y producción ($P < 0,05$), siendo altos en el cultivar 'Colombiana'. El aborto de óvulos y semillas se relacionó en la zona baja con problemas de pre-fertilización (56,10%) y en la zona alta con post-fertilización (20,60%). El aborto total superó el 60%, afectando la producción y se infiere la influencia de las temperaturas altas, entre otros factores, lo que debe considerarse en programas de mejoramiento de caraota.

Palabras clave: flores, frutos, óvulos, semillas, rendimiento, temperaturas altas.

Abortion of reproductive structures in black bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) evaluated in four localities of Venezuela

ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important edible legume in Venezuela, but its production is diminished by environmental conditions such as high temperatures. To quantify the abortion of flowers and fruits of bean cultivars and to establish their relationship with climatic variations, especially temperature, in six productive areas of the country, four trials were conducted in two locations at Lara state (Palo Verde and Sanare, >1000 masl) and two in Carabobo state ('Samán Mocho' and 'Montalbán', < 650 masl), where the climatic conditions were registered. Differences among 'Tacarigua', 'Magdaleno', 'La Palma', 'Sel4', 'Sel7', 'Sel10', 'Sel12', 'Sel13' y 'L140' y 'Colombiana' cultivars were evaluated in relation to abortion of flowers, fruits, ovules and seeds, by

*Autor de correspondencia: Petra Madriz
E-mail: petra.madriz@gmail.com

locating collecting tulle mesh type baskets, in 12 plants/m². At harvest time, total number, full, empty pods and its lengths, number of spaces in the pods, presence and type of seeds were measured per plant. Analysis of variance and correlation among abortion of flowers, fruits, number of pods and yield were made. The abortion of flowers and pods was greater in the lower elevation area (8-45 flowers/m²; 8-47 pods/m²) associated with high temperatures. Cultivars varied in abortion and production ($P < 0.05$), being greater in cultivar 'Colombiana'. The abortion of ovules and seeds in the lower elevation area was related to pre-fecundation problems (56,10%), but in the most elevated area was related to post-fertilization (20,60%). The total abortion exceeded 60%, reducing production and it is inferred that the influence of high temperatures, among other factors, should be considered in bean breeding programs.

Key words: flowers, fruits, ovules, seeds, yield, high temperatures.

INTRODUCCIÓN

En las Fabáceas, la prioridad al iniciar la fase reproductiva es que las flores se transformen y desarrollen en vainas normales que produzcan alto número de semillas sanas. Botones florales y legumbres son producidos durante todo ese período; sin embargo, también su aborto (Kohashi, 1990). Los frutos abortan porque los óvulos no se desarrollan o se necrosan, o carecen de sacos embrionarios. Las semillas denominadas "abortadas" son pequeñas, arrugadas y oscuras, muy frecuentes en las vainas formadas finalizando la floración, pero también ocurren, en las vainas normales, con valores entre 10 y 15% (White e Izquierdo, 1989).

El aborto de estructuras reproductivas puede ser causado por condiciones de clima, temperaturas altas, estrés hídrico, por condiciones de suelos, de manejo agronómico como riegos, presencia de insectos y hasta por caída natural o normal (White e Izquierdo, 1989; Kohashi, 1990; Mariot, 1996; Chaves *et al.*, 2014); sin embargo, la influencia de la temperatura alta es de las más relevantes (Masaya y White, 1991).

El efecto de las temperaturas altas se define como la situación en la cual las temperaturas son tan altas, en un tiempo suficientemente largo, que pueden causar daños irreversibles en las funciones y desarrollo de las plantas. Puede ocurrir la aceleración de la tasa de desarrollo reproductivo, ocasionando una disminución del tiempo del proceso de fotosíntesis, en el envío de asimilados (aporte para producción de frutos y semillas). Por otro lado, pudiera ser que el efecto de las temperaturas altas no sea permanente o irreversible, pero la aceleración de los procesos reduce sustancialmente el total de frutos y rendimiento de granos (Hall, 2000).

Se ha señalado la oscilación del aborto de flores y frutos de caraota entre 44 y 76%, y las pérdidas en rendimiento entre 45-65% (Izquierdo y Hosfield, 1981). Venezuela no escapa de esta realidad, donde el aborto y su relación con altas temperaturas se ha

observado en diferentes leguminosas (Jáuregui y Viera, 1995; Higuera y Gutiérrez, 1998; Madriz *et al.*, 2008).

Sobre la base de lo señalado se planteó como objetivo de este estudio, cuantificar el aborto de flores y frutos de plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en cuatro zonas productivas del país relacionándolo con las variaciones de los elementos climáticos, con especial énfasis en la temperatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de los ensayos

Para evaluar el aborto de estructuras reproductivas se efectuaron seis ensayos en los ambientes descritos en el Cuadro 1. Las condiciones climáticas se registraron mediante el uso de una estación climatológica portátil (GroWeather, Davis Instruments Co., CA, EUA.), colocada *in situ*, y en la Estación Experimental de Montalbán se complementó con información de la Estación climatológica de Parmalat y del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Ceniap INIA), localizada en la Finca Frutícola de Santa Cruz, Miranda, estado Carabobo en Venezuela (Figuras 1 y 2).

Se evaluaron 10 cultivares de caraota, los cuales se caracterizan como de crecimiento indeterminado, de grano color negro y de buena calidad culinaria. Dichos cultivares se identificaron de la manera siguiente: tres comerciales que fueron 'Tacarigua' (INIA), 'Magdaleno' y 'La Palma' (Sehiveca); seis experimentales, provenientes del Ceniap-INIA, 'Sel 4', 'Sel 7', 'Sel 10', 'Sel 12', 'Sel 13' y 'L 140' y finalmente el cultivar 'Colombiana', de origen desconocido, de varios años de siembra en Palo Verde, estado Lara.

Los ensayos se establecieron bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y los cultivares constituyeron los tratamientos. El área total por ensayo fue de 768 m², y cada parcela estuvo conformada por

Cuadro 1. Características agroecológicas de las localidades donde se llevaron a cabo las evaluaciones de aborto de estructuras reproductivas de caraota

Ubicación Zona de vida ¹	Localidad Municipio Estado	Latitud Longitud Altitud	Textura ² pH MO ³ (%)	Época de siembra	Fecha de siembra y cosecha
Palo Verde, Finca Los Eucaliptus BSP	Palo Verde Andrés E. Blanco Lara	9° 46' 33" N 69° 37' 51" O 1250 msnm	FA 4,48 3,05	Lluvias. Dos riegos: 13,20 mm, 35 dds y 20 mm, 42 dds	14/5/03 21/8/03
				Salida de lluvias. Cuatro riegos de 25 mm c/u, en la siembra, 33, 43 y 50 dds	25/9/03 3/1/04
Sanare, Finca Veracruz BSP	Sanare Andrés E. Blanco Lara	9° 44' 23" N 69° 39' 13" O 1360 msnm	F 6,71 3,21	Lluvias. Un riego: 22 mm, 45 dds	30/5/03 4-6/9/03
				Salida de lluvias. Un riego: 28,81 mm, 65 dds	29/9/03 5/1/04
E. E. Samán Mocho BSPT	Samán Mocho Tacarigua Carabobo	10° 06' 09" N 67° 52' 38" O 425 msnm	A 7,63 7,17	Seca con riego semanal	7/1/05 8/4/05
E. E. Montalbán BSPT	Montalbán Montalbán Carabobo	10° 13' 02' N 68° 18' 53" O 635 msnm	FA 6,95 2,86	Seca con riego semanal	14/1/05 18/4/05

¹BSP: Bosque seco premontano; BSPT: Bosque seco premontano en transición con los bosques muy seco y seco del piso tropical, según Ewel *et al.* (1976).

² FA: franco arcilloso; F: franco; A: arcilloso.

³ MO: materia orgánica del suelo.

ocho hilos de 5 m de longitud, separados a 0,6 m para un área por parcela de 24 m².

El manejo agronómico se efectuó según las labores propias de los productores de cada zona, y con uso de riego por aspersion. Se realizaron cuatro ensayos en la zona alta (>1000 msnm): dos en época de lluvias, mantenido principalmente, con precipitación pluvial y dos a salida de lluvias; asimismo, se efectuaron dos ensayos en la zona baja (< 650 msnm) con riego semanal cada uno (Cuadro 1).

La siembra fue manual, a chorro corrido. La fertilización, a los 20 d después de la siembra (dds), varió con el ensayo. En Palo Verde y Sanare, época de lluvias, se aplicó 16-16-16 CP a razón de 100 kg/ha, urea 150 kg/ha y estiércol de gallina 50 kg/ha. En Palo Verde y Sanare se sembró a salida de lluvias, aplicando 200 kg/ha de urea. En Samán Mocho se utilizaron 50 kg/ha de urea y en Montalbán 100 kg/ha de urea, 60 kg/ha de fósforo (Fosforil, 33% de P) y 60 kg/ha de potasio (cloruro de potasio, 50% K).

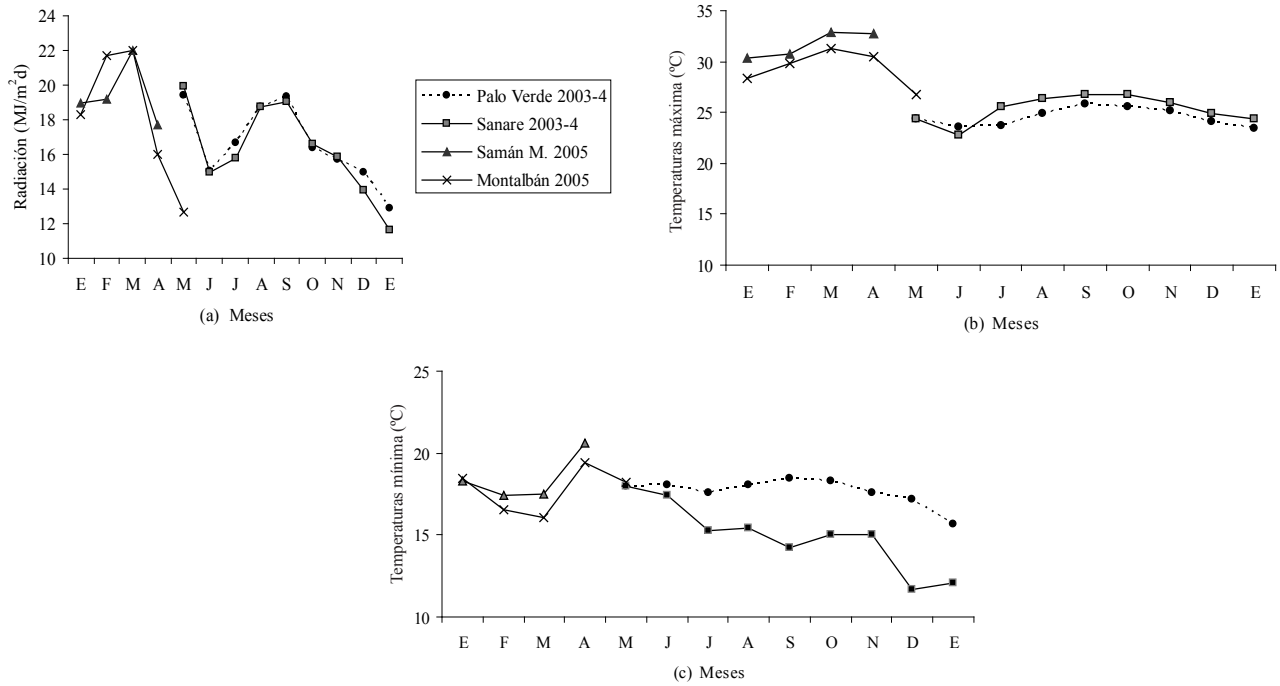


Figura 1. Condiciones de radiación solar (a), temperaturas máximas (b) y temperaturas mínimas (c) durante ensayos de aborto de estructuras reproductivas de caraota, en cuatro localidades.

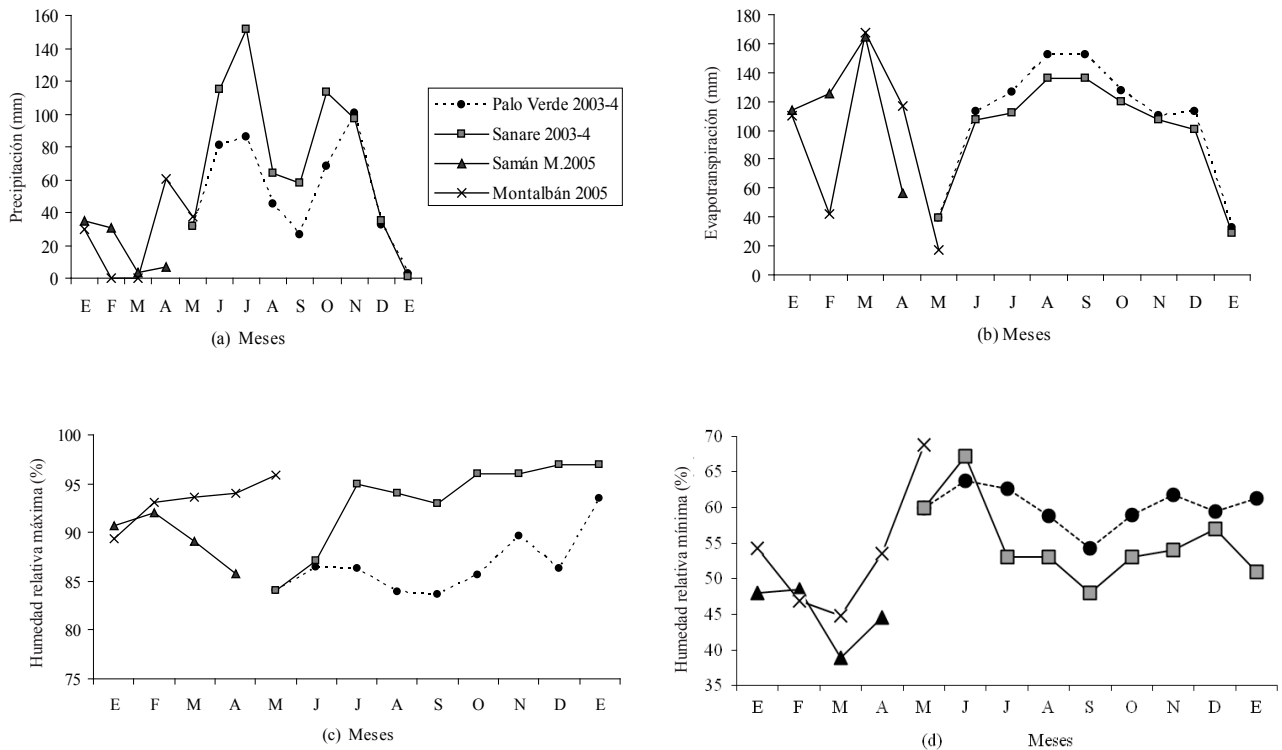


Figura 2. Condiciones de precipitación (a), evapotranspiración (b), humedad relativa máxima (c) y mínima (d) durante ensayos de aborto de estructuras reproductivas de caraota, en cuatro localidades.

Medición del aborto de flores y frutos

Antes de la etapa de prefloración, en el segundo hilo de cada parcela por ensayo (cuatro hilos por parcela), se colocó una estructura tipo cesta (Izquierdo y Hosfield, 1981), donde cayeron las flores y frutos abortados durante la fase reproductiva. Dicha cesta fue elaborada con malla tipo tul, que permitió la entrada de luz y aire a las plantas. Sus medidas fueron longitud 80 cm, ancho 50 cm y altura 40 cm. Las flores y los frutos abortados por cesta se contabilizaron cada 2 d en los ensayos de la zona alta y dos veces por semana en zona baja.

En la cosecha, se contaron las plantas por cesta (promedio 12 planta/m²), las cuales fueron extraídas y llevadas al laboratorio. Se evaluó el número de vainas totales retenidas por las plantas, distinguiendo las llenas (aquellas con al menos una semilla normal) de las vacías. Igualmente, se determinó su longitud. Las vainas se desgranaron y se obtuvo el número promedio de semillas normales, semillas no desarrolladas (de menor tamaño al promedio evaluado, arrugadas y de colores marrón a negro), deformes (con malformación, rugosidad o enfermas), ausencia de semillas (con espacios vacíos o rudimentos seminales muy pequeños y oscuros) y espacios totales (constituidos por los espacios de las vainas con o sin semillas) de acuerdo a lo señalado por Kohashi (1990) y Madriz *et al.* (2008).

Análisis estadístico

Los resultados se sometieron a análisis de varianza y se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan a los significativamente diferentes ($P < 0,05$). Adicionalmente, se correlacionó el aborto de flores y frutos con el número de vainas por plantas y el rendimiento (SAS, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aborto de estructuras reproductivas de plantas de caraota

Se registraron diferencias en el aborto de flores y frutos (Cuadro 2). Sin embargo, se observaron altos coeficientes de variación, los cuales se derivan de lo irregular del número de estructuras caídas, de las características de los genotipos y de las condiciones de los diferentes ambientes.

La variable aborto de flores arrojó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre cultivares en Samán Mocho, donde el promedio obtenido fue el más alto con 33,1 flor/m². Los valores promedios de flores caídas oscilaron entre 2,4 ('Sel 10', en Palo Verde

lluvias y 'Sel 12', en Sanare salida de lluvias) y 45,2 flor/m² ('Sel 12' y 'L 140', en Samán Mocho). Los cultivares de mayor aborto floral fueron 'Sel 12' y 'L 140', ambos con 45,2 flor/m² y 'Colombiana' con 43,3 flor/m² (Cuadro 2). Por ambiente, la caída de flores osciló entre 11,8 (Montalbán) y 33,1 flor/m² (Samán Mocho), para la zona baja y entre 6,4 (Sanare salida de lluvias) y 9,2 flor/m² (Palo Verde salida de lluvias) en la zona de mayor altitud (Cuadro 2). Se observa que Samán Mocho tuvo 35% mayor aborto de flores, lo cual se relaciona con las temperaturas altas de la localidad, (Figura 1), porque ocurrió gran formación de flores, pero también caída de las mismas (Mariot, 1996; Hall, 2000), a pesar de regarse durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo y de poseer suelos de excelente calidad (Cuadro 1) como ha sido señalado por Konsens *et al.* (1991).

El clima y particularmente la temperatura estuvieron relacionados con el aborto de flores y frutos de leguminosas; por ejemplo en zonas bajas de Venezuela, de temperaturas promedios superiores a 24°C, el aborto es mayor (Higuera y Gutiérrez, 1998; Pérez *et al.*, 2013). Igualmente, las temperaturas altas se relacionaron con el acortamiento del ciclo del cultivo en la zona baja. La duración en Palo Verde y Sanare de la época de lluvias promedio es de 84 dds, en Palo Verde y Sanare es de 80 dds, mientras que en Samán Mocho y Montalbán es 70 dds (Madriz *et al.*, 2013), lo que influyó en una alta producción de flores, pero también caída (Mariot, 1996). Sin embargo, aunque puede haber influencia de otras causas de aborto, como absorción de nutrientes del suelo (realizada en los ensayos, según análisis de suelos) y fisiología de las plantas (Portes, 1996), las temperaturas altas mostraron gran correspondencia con la caída de flores.

En los ambientes de zona baja hubo completa suplencia hídrica a través del riego, especialmente en Samán Mocho, pero la misma no contrarrestó la caída de flores (Konsens *et al.*, 1991). No obstante, aun cuando el riego por aspersión pudo influir, su efecto sería poco, ya que se aplicó una vez a la semana y simulaba la lluvia.

En la zona alta, el aborto pudo tener influencia de la caída natural de estas estructuras (White e Izquierdo, 1989; Kohashi, 1990), siendo un ejemplo de ello los cultivares Colombiana, Tacarigua y La Palma, o por efecto de la irregularidad de las lluvias, como el caso de las localidades Palo Verde en época de lluvias y Sanare en salida de lluvias. En esos ambientes se presentó déficit en las etapas de floración, formación y llenado de vainas, donde se necesita buena suplencia de humedad (Stone y Silveira, 2001), lo cual afecta la retención de flores y futuros frutos (Gross y Kigel, 1994).

Cuadro 2. Número de flores y vainas abortados de cultivares de caraota en cuatro localidades y épocas en Venezuela

Cultivar	Localidad / Época											
	Palo Verde / Lluvias		Sanare / Lluvias		Palo Verde / Salida de lluvias		Sanare / Salida de lluvias		Samán Mocho / Sequía		Montalbán / Sequía	
	Flor	Vaina	Flor	Vaina	Flor	Vaina	Flor	Vaina	Flor	Vaina	Flor	Vaina
	----- Numero/m ² -----											
'Colombiana'	11,5	40,0a	14,8	80,0a	11,00	33,8	7,6	13,8ab	43,3ab	22,4	8,6	51,0
'Tacarigua'	12,4	22,4bc	10,0	31,4b	8,6	12,9	6,2	5,2c	36,7abc	32,4	12,9	30,5
'Magdaleno'	3,4	18,6bc	8,1	14,7b	6,7	22,4	3,3	2,4c	34,8abc	32,4	7,6	26,2
'La Palma'	8,1	21,5bc	10,5	20,0b	9,5	20,5	12,4	8,1bc	22,9bcd	20,0	10,0	11,9
'Sel 4'	6,7	19,5bc	5,2	26,2b	8,1	14,3	5,7	2,4c	29,0abcd	31,4	14,8	14,7
'Sel 7'	7,2	24,3b	5,2	25,7b	11,0	29,5	6,7	9,5abc	38,6abc	34,8	13,3	32,4
'Sel 10'	2,4	8,1c	7,2	32,9b	12,4	21,4	6,7	16,6a	13,8d	38,1	20,0	22,8
'Sel 12'	8,6	22,9bc	6,2	27,1b	7,1	20,0	2,4	5,7c	45,2a	39,1	9,5	17,6
'Sel 13'	9,5	22,8bc	8,6	10,0b	9,5	9,5	5,7	4,8c	21,4cd	46,7	10,5	8,1
'L 140'	3,3	22,4bc	8,6	15,2b	8,1	29,5	7,6	3,8c	45,2a	25,2	10,5	27,1
Promedio	7,3	22,2	8,4	28,3	9,2	21,4	6,4	7,2	33,1	32,2	11,8	24,2
DE ¹	6,93	10,71	3,98	23,55	5,18	11,57	4,86	5,85	15,19	12,97	6,14	19,81
CV ² , %	81,4	36,0	40,2	60,9	64,6	48,9	65,9	57,6	32,9	37,8	37,1	66,9

abcd Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivares (P<0,05).

¹ DE: Desviación estándar.

² CV: Coeficiente de variación.

La variable aborto de vainas mostró diferencias significativas ($P < 0,01$) entre cultivares en Sanare, tanto en época de lluvias como a salida de lluvias y significativas en Palo Verde, en época de lluvias (Cuadro 2). En Sanare, durante la época de lluvias, los cultivares de mayor número de vainas abortadas fueron ‘Colombiana’ con 80 y ‘Sel 10’ con 33 vaina/m², respectivamente (Cuadro 2). El alto aborto y producción del cultivar Colombiana (rendimiento 2 107 kg/ha²; Madriz *et al.*, 2013) pareciera caracterizar su comportamiento, especialmente, en esta zona donde es producida (Cuadro 3). En los restantes cultivares hubo menor aborto y rendimientos, probablemente debido a una menor adaptación a la zona alta.

En Sanare a salida de lluvias, ‘Sel 10’ mostró el mayor aborto de vainas (16,6 vaina/m²), mientras que en el cultivar Colombiana fue de 13,8 vaina/m². Los cultivares tuvieron un comportamiento interesante en esta localidad, porque el aborto fue bajo, pero también los rendimientos (Cuadro 3). Esto se relaciona con retardo en el desarrollo de las plantas por baja humedad del suelo, llevando a aprovechamiento lento de nutrientes del suelo y por posible menor adaptación de los cultivares.

En Palo Verde, época de lluvias, los mayores abortos de vainas fueron 40 (‘Colombiana’) y 24 vaina/m² (‘Sel 7’). Se presentaron temperaturas frescas, con temperatura media de 20,4°C, la mínima promedio 17,7°C y máxima promedio 24,5°C (Figura 1), pero menos precipitaciones (Figura 2), con efecto adicional

de los problemas por suelos con pendiente. En este caso, debido a que las temperaturas se mencionan como las adecuadas para el cultivo (Masaya y White, 1991), la humedad pudo ser el factor determinante en el aborto y bajos rendimientos (728 kg/ha², Cuadro 3).

En la zona baja en época seca, las radiaciones solares son altas, el cielo mayormente está despejado y presenta temperaturas promedios altas (Figuras 1 y 2) y aunque los ensayos fueron regados semanalmente, las primeras características pudieron influir en el aborto y la producción (Cuadros 2 y 3), ya que aún con riego las temperaturas altas todavía causan caída de estructuras reproductivas. Fue evidente que en Samán Mocho hubo mayor producción de flores, vainas y rendimiento, lo cual pudiera estar asociado a características de los cultivares y su mejor adaptación a condiciones bajas, donde fueron seleccionados (excepto ‘Colombiana’), pudiendo estimular una mayor cantidad de flores y frutos con producción (Masaya y White, 1991; Omae *et al.*, 2006). Tales características deberían ser consideradas en trabajos de mejoramiento genético para tolerancia a temperaturas altas.

Las temperaturas altas pudieron afectar la distribución de los asimilados a las semillas, coincidiendo con señalamientos de Weaver y Timm (1988) que a temperaturas altas el porcentaje de asimilados que va a las legumbres disminuye en las valvas y aumenta en las semillas. No sucedió lo mismo en Montalbán, donde, además de la influencia de las temperaturas, incidieron las condiciones de irregularidad, calidad y

Cuadro 3. Rendimiento de grano de cultivares de caraota en ensayos de aborto de estructuras reproductivas en cuatro localidades de Venezuela

Cultivar	Localidad / Época					
	Palo Verde / Lluvias	Sanare / Lluvias	Palo Verde / Salida lluvias	Sanare / Salida lluvias	Samán Mocho / Sequía	Montalbán / Sequía
‘Colombiana’	936aB ¹	2107aA	1340aB	893abB	1244aB	701aB
‘Tacarigua’	789aBC	1249bcAB	931aABC	558bC	1472aA	646aBC
‘Magdaleno’	633aB	951bcdB	1304aAB	749bB	1571aA	801aB
‘La Palma’	878aA	807bcdA	636aA	616bA	1109aA	657aA
‘Sel 4’	684aA	1134bcdA	972aA	808bA	1721aA	1020aA
‘Sel 7’	757aA	1065bcdA	1124aA	1195aA	1321aA	552aA
‘Sel 10’	382aC	641cdB	1196aAB	738bAB	1318aA	639aB
‘Sel 12’	655aB	1258bAB	969aAB	649bB	1720aA	936aAB
‘Sel 13’	994aB	617dB	684aB	559bB	1591aA	415aB
‘L 140’	568aBC	889bcdAB	1017aA	573b BC	1217aA	416aC

ab Medias seguidas de letras diferentes en minúscula en la misma columna son distintas ($P < 0,05$).

ABC Medias seguidas de letras diferentes en mayúscula en la misma fila son distintas ($P < 0,05$).

preparación de los suelos, afectando la absorción de agua y nutrientes y la producción de los cultivares, ya que no solo tuvieron alto aborto sino bajos rendimientos.

Al correlacionar el aborto de las estructuras reproductivas (flores y frutos) con el número de vainas y el rendimiento de los cultivares de caraota en los ambientes (Cuadro 4), se encontró asociación, pero en bajos niveles, lo cual se infiere por la alta variabilidad en la caída de las estructuras reproductivas (Cuadro 2). En el caso del número de vainas por planta, la correlación con el aborto de flores (0,46) y aborto de vainas (0,30) fue positiva y significativa (Cuadro 4). Se observó que en Montalbán hubo relativo alto aborto y bajo número de vainas (Cuadro 2), pero en Samán Mocho se produjo alto aborto, y alta producción de vainas.

El rendimiento y el aborto de flores (0,49) y vainas (0,53) tuvieron una correlación positiva y significativa. Sin embargo, los bajos valores indican que es poco el efecto, posiblemente por la variabilidad en la caída de las flores de los cultivares en los distintos ambientes, lo cual se observó en cultivares como ‘Colombiana’ de alto aborto y altos rendimientos, ‘Magdaleno’ con bajo aborto y altos rendimientos y ‘Sel 10’ con bajo aborto, en algunos ambientes, y bajos rendimientos (Cuadros 2, 3 y 4). Cabe resaltar que alto aborto se asocia a efectos negativos en el rendimiento, ya que de no ocurrir, los rendimientos serían mayores (Izquierdo y Hosfield, 1981; Masaya y White, 1991). No obstante, también podría ocurrir que al disminuir el número de flores fertilizadas, los asimilados serían aprovechados por las que quedan y el rendimiento aumentaría o no se afectará como sucedió en Samán Mocho (White e Izquierdo, 1989)

Basado en lo anterior, solo una pequeña parte del potencial del rendimiento de la caraota está siendo aprovechada por el hombre (Masaya y White, 1991; Didonet y Vitoria, 2006). Las causas que llevan a un alto aborto de flores y vainas se infieren, con estos

Cuadro 4. Correlación entre el aborto de estructuras reproductivas, número de vainas por planta y rendimiento de cultivares de caraota en cuatro localidades de Venezuela

Variable	Rendimiento	Aborto de flores	Aborto de vainas
Vainas por planta	0,653**	0,459**	0,304**
Rendimiento		0,493**	0,525**
Aborto de flores			0,346**

** P<0,05

resultados, que están asociados a problemas como las temperaturas altas, humedad, entre otras, que influyen sobre la producción final. No obstante, con mejoramiento genético de plantas y agronómico se puede lograr incrementar la producción, considerando las temperaturas altas, como se evidencia.

Vainas cosechadas de las plantas con las cestas

En las plantas evaluadas con las cestas, se encontró que el número promedio de vainas por planta presentó diferencias ($P<0,01$) entre cultivares para Sanare, salida de lluvias, y para la misma localidad en época de lluvias, como se evidencia en los Cuadros 5 y 6. Sanare, a salida de lluvias, promedió 5,8 vaina/planta, siendo el valor más bajo; mientras que en época de lluvias promedió 10,3 vaina/planta, con el mayor valor de la zona alta. Es de destacar que el número de vainas por planta es un componente del rendimiento, de donde su retención es básica para la producción.

El número promedio de vainas llenas por planta también mostró diferencias ($P<0,01$) entre cultivares en Sanare a salida de lluvias (con el promedio más bajo) y en época de lluvias (Cuadros 5 y 6). Los resultados, como se ha apuntado, pudieron deberse a otros efectos como la irregularidad de las lluvias y suelos, y no a la temperatura (Masaya y White, 1989).

En Sanare en época de lluvias, el promedio de vainas llenas por planta fue 8,8 (mayor que en la zona alta), correspondiéndose a sus altos rendimientos (Cuadro 3). En general, las vainas llenas por planta estuvieron entre 3,1 (‘L 140’, Sanare salida de lluvia) y 18,2 (‘Sel 13’, Samán Mocho época seca) como se observa en el Cuadro 7; es decir, fueron entre 88 y 92% de las vainas por planta. Entre las vainas llenas habían encogidas y marchitas, que presentaron al menos una semilla, lo que impidió su aborto, permitiendo su retención y cosecha final, como señala la literatura (Masaya y White, 1991; Gross y Kigel, 1994).

La variable longitud promedio de vainas por planta mostró diferencias ($P<0,05$) entre cultivares en las localidades Palo Verde época de lluvia, Palo Verde salida de lluvias y Sanare salida de lluvias (Cuadros 5, 8 y 9). En Palo Verde en época de lluvias, el promedio de longitud fue 8,7 cm (el más bajo), mientras que a salida de lluvias se obtuvo 9,7 cm, y en Sanare a salida de lluvias, 9,3 cm. La longitud de las vainas varió entre 7,9 cm para ‘Magdaleno’, en la localidad Palo Verde época de lluvia, y 11,23 cm para ‘Sel 13’ en la localidad Samán Mocho época seca.

Las vainas presentaron espacios para semillas, cuyos valores oscilaron entre 8, para ‘Colombiana’, en Palo Verde a salida de lluvias y 4, para ‘Magdaleno’,

Cuadro 5. Variables estudiadas en vainas de evaluación de aborto en cultivos de caraota sembrados en Sanare, salida de lluvias¹

Cultivar	VLL	VV	VP	LV	SSV	SNDV	SDV	ASV	SV	ET
	----- N° -----			cm						
'Colombiana'	5,2abc	1,2	6,3ab	9,9a	4,9	0,5	0,1	0,20	5,5	5,7
'Tacarigua'	3,7bcd	1,7	5,4bc	10,4a	4,8	0,6	0,1	0,27	5,6	5,8
'Magdaleno'	5,5ab	1,6	7,1ab	8,0c	3,2	0,5	1,1	0,20	4,8	5,0
'La Palma'	4,9abc	1,9	6,8ab	9,3abc	4,1	1,3	0,2	0,23	5,6	5,8
'Sel 4'	4,5abc	3,7	4,3bc	9,1abc	4,6	1,4	1,3	0,32	5,9	7,7
'Sel 7'	6,6a	2,8	9,4a	9,3abc	4,9	0,8	0,1	0,28	5,8	6,2
'Sel 10'	5,2abc	1,7	6,9ab	9,0abc	4,0	0,7	0,6	0,29	5,3	5,6
'Sel 12'	1,9d	0,6	2,5c	9,2abc	4,6	1,0	0,1	0,15	5,8	5,9
'Sel 13'	3,4bcd	1,4	4,8bc	9,9ab	5,1	1,1	0,2	0,43	6,3	6,7
'L 140'	3,1bcd	1,4	4,4bc	8,5bc	3,1	1,0	1,0	0,29	5,1	5,4
Promedio	4,4	1,8	5,8	9,3	4,4	0,9	0,5	0,27	5,6	6,0

¹VLL: Vainas llenas, VV: vainas planta, VP: vainas de vainas y número por vainas de:

SSV: semillas sanas, SNDV: no desarrolladas, SD: deformes, ASV: ausencia de semillas, SV: semillas vainas,

ET: espacios totales

abc Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivares (P<0,05).

Cuadro 6. Variables estudiadas en vainas de evaluación de aborto en cultivos de caraota sembrados en Sanare, época de lluvia¹

Cultivar	VLL	VV	VP	LV	SSV	SNDV	SDV	ASV	SV	ET
	----- N° -----			cm						
'Colombiana'	14,3a	1,4	15,7a	10,6	4,7	0,43	0,01	0,13bc	5,1	5,3
'Tacarigua'	10,5ab	2,3	12,7ab	9,6	4,8	0,70	0,01	0,23bc	5,5	5,7
'Magdaleno'	8,7b	0,9	9,6b	8,6	4,6	0,57	0,003	0,33bc	5,2	5,5
'La Palma'	7,0b	0,9	7,9b	9,8	4,0	1,00	0,17	0,33bc	5,2	5,4
'Sel 4'	7,9b	1,7	9,6b	8,6	4,0	0,65	0,02	0,35bc	4,6	5,0
'Sel 7'	8,0b	2,8	10,8ab	10,2	3,9	0,87	0,003	0,13bc	4,8	4,9
'Sel 10'	9,3b	2,2	11,6ab	9,3	4,5	0,47	0,13	0,23bc	5,0	5,3
'Sel 12'	7,0b	0,6	7,5b	10,1	4,5	1,00	0,04	0,07c	5,5	5,6
'Sel 13'	6,1b	1,6	7,7b	10,2	3,5	1,07	0,08	0,83a	4,6	5,4
'L 140'	8,5b	0,9	9,4b	10,4	4,2	0,60	0,02	0,27bc	4,8	5,1
Promedio	8,8	1,5	10,3	9,8	4,3	0,74	0,05	0,29	5,1	5,3

¹VLL: Vainas llenas, VV: vainas planta, VP: vainas de vainas y número por vainas de:

SSV: semillas sanas, SNDV: no desarrolladas, SD: deformes, ASV: ausencia de semillas, SV: semillas vainas,

ET: espacios totales

abc Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivares (P<0,05).

en Montalbán, (Cuadros 9 y 10), correspondiendo a lo señalado por Madriz *et al.* (2008) en condiciones de Sanare y Montalbán. De estos espacios totales por vaina (Cuadro 11) entre el 63,8% (Montabán época seca) y 84,6% (Palo Verde) estaban ocupados por semillas sanas, las que son útiles para consumo o siembra. Por ello, la longitud de las vainas (Cuadro 5) se asocia con el número, peso de semillas y rendimiento; aunque una mayor longitud no asegura que todos los espacios sean ocupados por semillas normales (Madriz *et al.*, 2008).

La ausencia de semillas por vaina (Cuadro 11) también presentó en Sanare, durante la época de lluvias, diferencias ($P < 0,01$) y en Palo Verde a salida de lluvias ($P < 0,05$). En Sanare hubo un promedio de 0,29 ausencia de semillas por vaina, con 0,83 en 'Sel 13', mientras que en Palo Verde a salida de lluvias hubo los menores promedios con 0,20 ausencia de semillas por planta. Esta variable apunta a la ausencia de fertilización de óvulos, considerado aborto por problemas de pre-fertilización (White e Izquierdo, 1989). Los resultados evidencian un efecto de temperaturas altas, particularmente en la zona baja, que pudo influir en todos los cultivares no solo en caída de flores y frutos, sino en óvulos y semillas afectados (Didonet y Vitoria, 2006). La ausencia de semillas se observó principalmente en las vainas vacías por planta (8-12%). Estas vainas promediaron por ambiente entre 0,6 (Montalbán) y 1,8 (Sanare en época de salida de lluvias y Samán Mocho en época seca), donde los cultivares variaron entre 0,2 ('Sel 10') y 3,7 ('Sel 4') vainas vacías por planta.

En espacios de las vainas, básicamente en las vacías, se presentaron indicios de óvulos sin desarrollo. Este tipo de estructuras posiblemente fue producto de óvulos no fertilizados, sin desarrollo, con tamaño de cabeza de alfiler (Kohashi, 1990), probablemente por efecto de temperaturas altas antes y durante la antesis, causantes de polen inviable y/o problemas en el desarrollo del tubo polínico (Madriz *et al.*, 2008). Igualmente, otros óvulos pudieron ser fertilizados, pero por problemas post-fertilización, como temperaturas altas, competencia por fotoasimilados, humedad u otras, no lograron desarrollarse (White e Izquierdo, 1989; Madriz *et al.*, 2008). Pudo ocurrir que las primeras vainas fueran sumidero principal y las siguientes, las últimas en formarse y ubicadas en la parte superior de las plantas, quedaran, en consecuencia, vanas y pequeñas (White e Izquierdo, 1989; Hall, 2000). Cabe destacar que la ubicación de las vainas en plantas no se evaluó, pero las vacías coincidieron con esta descripción.

Al relacionar las semillas sanas por vaina con las condiciones de clima, se observó que los ambientes de la zona baja con mayores temperaturas, presentaron menor número de semillas sanas (3,7 en Montalbán y 4,0 semillas sanas por vaina en Samán Mocho). Esta situación probablemente fue influida por efecto de las altas temperaturas que afectaron la viabilidad del polen y fertilización de los óvulos, o por problemas de post-fertilización que impidieron el llenado de las semillas.

La inviabilidad del polen, que impide la fertilización de óvulos, puede ser la causa de ausencia de semillas o rudimentos seminales (promedios entre 0,2 y 0,74 ausencia de semillas por vaina, en las localidades Palo Verde salida de lluvias y Montalbán época seca, respectivamente (Cuadros 9 y 10). Esto es equivalente al 12,3% en Samán Mocho y 12,8% en Montalbán. Estos valores son inferiores a los encontrados por Madriz *et al.* (2008) en la misma localidad. También se observó que las mayores temperaturas en prefloración y floración se alcanzaron en estos ambientes, pudiendo influir en la esterilidad del polen (Vera Prasad *et al.*, 2001; Didonet y Vitoria, 2006) y/o en el desarrollo del tubo polínico, impidiendo la fertilización de los óvulos más alejados del estigma (Gross y Kigel, 1994; Jáuregui y Viera, 1995).

Con respecto a las semillas no desarrolladas y deformes, las primeras fueron de porcentaje ligeramente mayor en zonas altas, especialmente, en Palo Verde a salida de lluvias y en Sanare a entrada de lluvias, pudiendo la competencia por fotoasimilados y nutrimentos entre óvulos fertilizados ser causal del poco desarrollo de las semillas, ya que se ha señalado que la diferencia entre el número de óvulos y semillas se debe más al aborto de las últimas (Didonet y Vitoria, 2006). Por otra parte, las semillas deformes y arrugadas fueron irregulares en su número (Cuadro 11), pero ligeramente en mayor cantidad en las zonas bajas. Este tipo de semillas, a pesar de su menor calidad visual, se utiliza tanto para consumo como para la siembra.

Si se cuantifica el aborto, los valores en flores estuvieron entre 5,2 y 14%, el de vainas abortadas y vacías de 11,0 a 23,7%, y el de óvulos y semillas (del total de vainas, espacios totales, espacios vacíos y semillas no desarrolladas) entre 20,6 (zona alta) y 56,1% (zona baja). Es decir, los porcentajes de aborto en el país son mayores en la zona baja (Higuera y Gutiérrez, 1988; Jáuregui y Viera, 1995; Madriz *et al.* 2008) y tan altos como lo refiere la literatura (Izquierdo y Hosfield, 1981; White e Izquierdo, 1989; Masaya y White, 1991); aprovechándose una pequeña parte del potencial del rendimiento de la caraota y en estas condiciones como causa principal, las temperaturas altas (Masaya y White, 1991).

Cuadro 9. Variables estudiadas en vainas de evaluación de aborto en cultivares de caraota sembrados en Palo Verde, salida de lluvias¹

Cultivar	VLL	VV	VP	LV	SSV	SNDV	SDV	ASV	SV	ET
		N°		cm				N°		
'Colombiana'	8,5	0,5	9,0	10,1ab	6,7	0,50	0,45	0,15c	7,6	7,8
'Tacarigua'	6,2	1,0	7,3	9,8abc	5,5	0,60	0,03	0,20bc	6,1	6,3
'Magdaleno'	11,2	1,4	12,8	8,8c	5,0	0,37	0,10	0,17bc	5,5	5,6
'La Palma'	7,7	2,6	10,3	9,6abc	5,1	0,67	0,07	0,13c	5,9	6,0
'Sel 4'	4,5	3,6	8,1	8,9c	4,2	0,80	0,25	0,45a	5,2	5,6
'Sel 7'	16,2	1,2	17,3	10,0ab	5,5	0,47	0,03	0,13c	6,0	6,1
'Sel 10'	8,3	1,1	9,3	9,4bc	4,0	0,53	0,57	0,17bc	5,1	5,3
'Sel 12'	5,7	1,3	7,0	9,8abc	5,1	0,73	0,17	0,17bc	6,1	5,3
'Sel 13'	6,0	2,0	8,0	10,5a	4,1	0,80	0,27	0,33ab	5,2	5,5
'L 140'	8,4	0,8	9,2	9,5abc	4,8	0,83	0,40	0,17bc	6,0	6,2
Promedio	8,4	1,5	9,9	9,7	5,0	0,63	0,23	0,20	5,8	6,0

¹ VLL: Vainas llenas, VV: vainas planta, VP: vainas de vainas y número por vainas de:

SSV: semillas sanas, SNDV: no desarrolladas, SD: deformes, ASV: ausencia de semillas, SV: semillas vainas,

ET: espacios totales

abc Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivares (P<0,05).

Cuadro 10. Variables estudiadas en vainas de evaluación de aborto en cultivares de caraota sembrados en Montalbán, época seca¹

Cultivar	VLL	VV	VP	LV	SSV	SNDV	SDV	ASV	SV	ET
		N°		cm				N°		
'Colombiana'	6,4	0,6	7,0	9,6	3,0	0,60	0,5	1,1	4,2	5,2
'Tacarigua'	7,8	0,3	8,1	9,6	4,8	0,70	0,1	0,3	5,6	5,9
'Magdaleno'	7,0	0,3	7,3	8,2	2,4	0,40	0,7	0,5	3,5	4,0
'La Palma'	3,5	0,7	4,2	8,3	3,4	1,00	1,3	0,3	5,6	5,9
'Sel 4'	8,1	0,8	8,9	8,5	4,4	0,53	0,7	0,5	5,6	6,1
'Sel 7'	7,0	0,5	7,5	9,1	4,5	0,53	0,3	0,8	5,3	6,1
'Sel 10'	5,0	0,2	5,2	10,6	4,1	0,67	0,7	1,0	5,4	6,4
'Sel 12'	6,4	0,3	6,6	8,9	5,0	0,55	0,4	0,8	5,9	6,7
'Sel 13'	4,2	0,6	4,8	10,3	3,1	0,55	1,1	1,2	4,8	6,0
'L 140'	5,2	1,1	6,3	8,6	2,9	0,93	1,4	0,9	5,2	6,0
Promedio	6,1	0,6	6,7	9,2	3,7	0,64	0,73	0,74	5,1	5,8

¹ VLL: Vainas llenas, VV: vainas planta, VP: vainas de vainas y número por vainas de:

SSV: semillas sanas, SNDV: no desarrolladas, SD: deformes, ASV: ausencia de semillas, SV: semillas vainas,

ET: espacios totales

abc Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivares (P<0,05).

Cuadro 11. Semillas estudiadas en vainas de evaluación de aborto en cultivares de caraota sembrados en cuatro localidades de Venezuela¹

Localidad	SS	SND	SD	AS	ST	ETV
	----- % -----			----- N° -----		
Palo Verde lluvias	84,6	9,6	1,3	3,7	5	5
Sanare lluvias	81,1	14,0	0,9	5,5	5	5
Palo Verde salida lluvias	83,3	10,5	3,8	3,3	6	6
Sanare salida lluvias	73,3	15,0	8,3	4,5	6	6
Samán Mocho	66,7	8,7	11,3	12,3	5	6
Montalbán	63,8	11,0	12,6	12,8	5	6

¹SS: semillas sanas, SND: no desarrolladas, SD: deformes, AS: ausencia de semillas, ST: semillas totales, ETV: espacios totales en vainas..

CONCLUSIONES

El efecto del aborto de flores y frutos se observó en la no formación de óvulos, semillas y deformación de semillas; no obstante, el potencial y adaptación de algunos cultivares de caraota, en algunas zonas evaluadas, permitió su producción con alta formación de flores para asegurar la presencia y mantenimiento de las estructuras reproductivas, a pesar de la influencia de las condiciones climáticas como las temperaturas altas.

El aborto total superó el 60% (por pre-fertilización en la zona baja y post-fertilización en la zona alta), lo que afecta la producción de caraota, y se infiere que está influido por condiciones ambientales como temperaturas altas, humedad, suelos, entre otros y su interacción con los cultivares sembrados. Esto debe considerarse en la mejora genética y agronómica de la caraota.

AGRADECIMIENTOS

Al Fonacit por el financiamiento otorgado para la ejecución del trabajo. Al equipo de INIA-Lara por el apoyo brindado. Al Ing. Alberto Salih, INIA- Ceniap, por apoyo y suministro de los cultivares evaluados. Al Ing. Elio Rodríguez y a SEHIVECA por el cv. 'La Palma'. Al Ing. Antonio Tesara y a SEMINACA por su apoyo en los ensayos. Al Ing. Arístides Campos y trabajadores de la Estación Experimental de Montalbán. A los Ing. Jagger Valenzuela, Pablo D' Enjoy, Ediling Rodríguez y José I. Azkue por la ayuda y el trabajo en equipo. A los pueblos de Palo Verde y de Sanare, estado Lara, por su amistad, ayuda y confianza en el trabajo realizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chaves, N.; R. Araya; D. Debouck. 2014. Cruzamiento natural en frijol común en Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 25: 23-33.

Didonet, A.; T.B. Vitoria. 2006. Resposta do feijoeiro comum ao estresse térmico aplicado em diferentes estágios fenológicos. *Pesq. Agrop. Trop.* 36: 199-204.

Ewel, J.; A. Madriz; J. Tosi. 1976. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. 2^{da} ed. Editorial Sucre. Caracas, Venezuela. 270 p.

Gross, Y.; J. Kigel. 1994. Differential sensitivity to high temperature of stages in the reproductive development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crop Res.* 36: 201- 212.

Hall, A. 2000. Heat stress and its impact. Botany and Plant Sciences Dept., University of California, Berkeley, EUA. 5 p.

Higuera, A.; W. Gutiérrez. 1998. Prácticas agronómicas del cultivo de frijol, *Vigna unguiculata* (L) Walp. Taller formulación de un programa integral de investigación en leguminosas. II Parte. PDVSA. Sartenejas, Caracas. 175- 182. pp.

Izquierdo, J.; G. Hosfield. 1981. A collection receptacle for field abscission studies in common bean. *Crop Sci.* 21: 622- 625.

Jáuregui, D.; J. Viera 1995. Formación y distribución de las semillas en el fruto de *Canavalia ensiformis* (L.) DC. *Ann. Bot. Agr.* 2: 12-15.

Kohashi, J. 1990. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su relación con el rendimiento. Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 44 p.

Konsens, I.; M. Ofir; J. Kigel. 1991. The effect of temperature on the production and abscission of flowers and pods in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ann. Bot.* 67: 391- 399.

- Madriz, P.; D. Jáuregui; R. Warnock. 2008. Aborto de óvulos y semillas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y caracterización de anomalías morfoanatómicas, en dos cultivares sembrados en dos localidades de Venezuela. *Interciencia* 33: 910-915.
- Madriz, P.; M. Puche; R. Warnock; A. Trujillo. 2013. Caracterización fenológica de diez cultivares de caraota en relación a grados días acumulados, en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. UCV* 39: 60-73.
- Mariot, E. 1996. Avaliação do crescimento vegetativo de dez genótipos de feijoeiro submetidos ao estresse térmico em condições controladas. V Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão. Resumos expandidos. EMBRAPA- CNPAF, Goiania, Brasil. pp. 35-37.
- Masaya, P.; W. White. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. In Shoonhoven, V.; O. Voysest (Eds.) *Common beans: Research for Crop Improvement*. Commonwealth Agricultural Bureaux International, CIAT. Cali, Colombia. pp. 445-500.
- Omae, H.; A. Kumar, K. Kashiwaba; M. Shono. 2006. Influence of high temperature on morphological characters, biomass allocation, and yield components in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant. Prod. Sci.* 9: 200-205.
- Pérez, D.; N. Camacaro; M.E. Morros; A. Higuera. 2013. Leguminosas de grano comestibles en Venezuela. *Agricultura en Venezuela* N° 1. Ediciones ONCTI. Caracas, Venezuela. 16 p.
- Portes, T. 1996. Ecofisiología. Cultura do feijoeiro-comum no Brasil. Potafos, Piracicaba, Brasil. pp 101-137.
- SAS. 2001. *The SAS System 8 for Windows*. SAS Institute. Cary, EUA.
- Stone, L.F.; P. M. da Silveira. 2001. Requerimento de agua. Irrigação do feijoeiro. Embrapa, CNPAF, Arroz y Feijao. Santo Antonio de Goiás, Brasil. pp. 9-71.
- VaraPrasad, P.; P. Craufurd; V. Kakani; T. Wheeler, K. Boote. 2001. Influence of high temperature during pre- and post- anthesis stages of floral development on fruit-set and pollen germination in peanut. *Aust. J. Plant. Phys.* 28: 233-240.
- Weaver, M. L.; H. Timm. 1988. Influence of temperature and plant water status on pollen viability in beans. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 31-35.
- White, W.; J. Izquierdo. 1989. Frijol: Fisiología del potencial del rendimiento y tolerancia al estrés. FAO. CIAT. Cali, Colombia. 91 p.