

Artículo científico**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE PLANTAS DE FRIJOL COMÚN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) ANTE ALTAS TEMPERATURAS.**

Pedro Luis González la Fe, Alfredo Socorro García, Melba Cabrera Lejardi y Maydelín Dorado Bermúdez.

RESUMEN

Se estudió el ciclo completo de diferentes genotipos de frijol común procedentes del Banco de Germoplasma del INIFAT, con el objetivo de evaluar la respuesta de diferentes accesiones a altas temperaturas en época no óptima de siembra. Para ello se realizó un experimento en áreas de la institución sobre suelo Ferralítico Rojo Lixiviado en fecha no óptima para el cultivo y se estudiaron trece genotipos, de ellos tres variedades comerciales. Los resultados permitieron predecir el comportamiento del cultivo mediante la modelación matemática de la germinación y el crecimiento, evaluando los diferentes momentos de aparición de las fases fenológicas hasta el final del ciclo biológico. Se destaca el hecho que la accesión 'P3289' mostró el mayor porcentaje de germinación a los 9 días después de la siembra (dds), asimismo a los 16 días las tres variedades comerciales mostraron valores superiores al 95 %, incluyendo la accesión 'P3334' que también logró valores más altos de biomasa entre los 28 y 36 (dds). Las respuestas más favorables en cuanto a tolerancia ante las condiciones de altas temperaturas se observaron en las accesiones 'P3306', 'P3334', 'P3337', 'P3785' y la variedad 'Velazco Largo'. Las accesiones estudiadas evidenciaron una dependencia inversamente proporcional significativa entre la altura de las plantas a los 44 días posteriores a la siembra y los períodos de la fase reproductiva. Los resultados obtenidos pueden utilizarse en la planeación de estrategias para enfrentar el cambio climático en las áreas productoras de frijol, en la búsqueda de nuevos genotipos con tolerancia a condiciones de altas temperaturas.

Palabras clave: fenología, modelos de simulación, tasas de crecimiento

Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) response under high temperature conditions.

ABSTRACT

Response of different genotypes from INIFAT Gene Bank to high temperature was studied. The experiment was conducted on Red Lixivated Ferralitic soil at INIFAT's experimental areas in non-optimum sowing dates and 13 genotypes, including three commercial varieties was studied. The plant response was predicted by math modeling of germination and growth, evaluating plant phenology. Accession 'P 3289' showed the highest germination percentage at 9 days after sowing (das). Likewise, the three commercial

Ing. Pedro Luis González La Fe, Investigador Agregado del Departamento de Agricultura Urbana y Manejo Sostenible del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT), MINAG. Calle 188 no. 38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, Boyeros. La Habana, Cuba. E-mail: extensionagricola@inifat.co.cu

varieties exhibited germination percentages above 95 % at 16 das, including accession 'P 3334' which reached the highest biomass values at 28 and 36 days. Accessions 'P 3306', 'P 3334', 'P 3337', 'P 3785' and the commercial variety 'Velazco Largo' showed the most favorable response at high temperatures. Accessions studied exhibited an inverse significant dependence among plant height at 44 days and the reproductive development. These results could be used to designing strategies to face climate change in bean production areas and to search for new genotypes tolerant to high temperatures.

Key words: phenology, simulation models, growth analysis methods

INTRODUCCIÓN

En las próximas décadas se prevé un aumento global de la temperatura de aproximadamente 4,0 °C, el cual se suma al aumento de 0,6 °C que ya experimentó la atmósfera desde la revolución industrial (Torres *et al.*, 2019), los cuales van a incidir negativamente en la producción agrícola. A ello se adicionan otros factores abióticos como la salinidad de los suelos y la prolongación de los periodos de sequía (Collado *et al.*, 2017).

La situación en Cuba se incluye en el escenario global que experimentará la producción agrícola mundial por esta razón se realiza un estudio preliminar o exploratorio con accesiones del Banco de Germoplasma del INIFAT, de las cuales se conoce su respuesta positiva a estrés y otros factores, como punto de partida para trabajos de manejo agronómico en condiciones de cambio climático.

En tal sentido se toman las medidas para mitigar los efectos del cambio climático específicamente en la línea de adaptación, la cual representa aquella dimensión donde las ciencias agrícolas pueden destacar su aporte (Medina-García *et al.*, 2016). Ello demanda conocer el comportamiento de cultivares de interés alimentario ante estos climas adversos.

Entre las leguminosas que poseen semillas comestibles, el frijol común es una de las más importantes por su aporte de proteínas, vitaminas (tiamina, niacina y ácido fólico), fibra y minerales entre ellos el calcio, hierro, fósforo,

magnesio y zinc (Martínez, 2018). El frijol también es reconocido como alimento nutracéutico o funcional; es decir, que además de aportar componentes fisiológicos activos (vitaminas, proteínas, fibra, etc.), también proporciona beneficios más allá de la nutrición básica y puede prevenir enfermedades o promover la salud (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2002).

En Cuba se consume casi a diario y junto al arroz, es el alimento de mayor presencia en la dieta de las familias (Walón *et al.*, 2015), lo que muestra la importancia de su producción en el país, como contribución a la seguridad alimentaria.

En el caso de las leguminosas como el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), una de las etapas más sensibles a la acción del aumento de la temperatura es el crecimiento vegetal (Cabrera *et al.*, 2013). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de diferentes accesiones de frijol común a altas temperaturas en época no óptima de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña de 2018 (abril – junio) se condujo un ensayo de ciclo vegetativo completo con 10 accesiones y 3 variedades comerciales de *P. vulgaris*, pertenecientes a la colección del Banco de Germoplasma del INIFAT (Tabla 1). Las semillas fueron sembradas en un suelo Ferralítico Rojo (Hernández *et al.*, 2015) situado a 23° 58' 39" N y 82° 22' 41" O con una altura

sobre el nivel del mar de 77,35 m. El diseño experimental empleado de bloques al azar con tres réplicas por genotipo. Cada bloque estuvo conformado por tres surcos de 2,0 m de largo a 0,90 m x 0,10 m como distancia de siembra.

Las atenciones culturales fueron realizadas según el Instructivo Técnico del cultivo (Álvarez, 2013) y se recopilaron los datos de la temperatura mínima, media y máxima diarias durante el periodo que duró el experimento (Tabla 2).

Tabla 1. Nombres de las accesiones y de las variedades comerciales.

Accesiones				Variedades comerciales			
1	P3289	5	P3337	8	P3785	11	Rayado 2258
2	P3306	6	P3609	9	P3796	12	Caujerí 2170
3	P3309	7	P3613	10	P3797	13	Velazco Largo
4	P3334						

Tabla 2. Temperaturas (°C) según la Estación Meteorológica de Santiago de las Vegas (X: promedio y DE: desviación estándar).

Temperatura en °C							
Mes	Decena	Mínima		Media		Máxima	
		X ± DE		X ± DE		X ± DE	
Abril	2	16,0	± 1,9	23,3	± 1,6	30,9	± 1,0
	3	20,0	± 1,4	24,6	± 0,5	30,0	± 1,5
Mayo	1	21,4	± 1,1	25,3	± 0,5	30,2	± 0,9
	2	22,0	± 0,7	24,5	± 0,5	29,8	± 1,5
	3	22,7	± 1,0	24,7	± 1,3	28,1	± 2,4
Junio	1	22,1	± 0,8	26,3	± 0,8	31,8	± 0,9
	2	22,2	± 1,3	26,4	± 1,3	31,5	± 1,4
	3	21,7	± 1,1	25,9	± 0,9	31,6	± 0,9

Se realizaron tres conteos de las semillas germinadas a los 7, 9 y 16 días después de la siembra (dds) y se calculó el comportamiento de

la pérdida de germinación por efecto de la temperatura por medio de una ecuación sigmoidea (1) descrita por Socorro *et al.* (2016).

$$PS = \frac{P_o}{1 + e^{K(T-T_{50})}} \quad (1)$$

Esta se describe por un índice que se denomina T_{50} , que indica la temperatura media diaria promedio que tiene que existir durante el intervalo de siembra y la evaluación de la germinación, para que dicho porcentaje de germinación (PS: supervivencia en condiciones de campo), disminuya en un 50 %; otro indicador que refleja el porcentaje de germinación en condiciones óptimas $PO=100\%$ y un término 'K' que refleja cuan susceptible o tolerante puede resultar el cultivo y depende de las características propias de cada accesión. Mayores valores de 'K' indican que la curva tiende a una mayor pérdida de la germinación con respecto al incremento de la temperatura. En cinco plantas seleccionadas al azar en cada bloque, se calculó la altura midiendo desde la base hasta el extremo apical del tallo principal de las plantas a los 20, 44, 58 y 78 días después de la siembra.

Se evaluaron las Tasas de Crecimiento en los intervalos comprendidos entre 28-36 y 36-72 días después de la siembra. Para ello se tomaron muestras de hojas y tallo de tres plantas por cada réplica para un total de nueve por variante experimental y se colocaron en una estufa a 80 °C, hasta obtener el valor constante para la masa seca de cada muestra. Entre las fechas señaladas se calcularon las Tasas de Crecimiento Absoluta (2) y Relativa (3), por medio de las expresiones referidas por Maqueira et al. (2010). Donde MS_1 y MS_2 son las masas secas por planta evaluadas en dos tiempos posteriores a la siembra $t_1=28$ días y $t_2=36$ días para la primera evaluación y $t_1=36$ días y $t_2=72$ días para la segunda. Para la evaluación estadística se utilizó el análisis de varianza unifactorial y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey para $P<0,05$.

$$TAC = \frac{MS_2 - MS_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

$$TRC = \frac{\ln[MS_2] - \ln[MS_1]}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Para obtener las fechas de las etapas de plena floración y maduración fisiológica, se realizaron observaciones a los 37, 44, 55 y 77 dds por cada bloque y se evaluó el número de plantas con al menos un botón y/o una flor, para de esta forma obtener el porcentaje 'P' de brotación y floración. Los datos fueron ajustados mediante el modelo logístico auto-catalítico (4), donde A, B y C son constantes que se obtienen por el ajuste de los datos experimentales. Para determinar la prefloración se consideró la observación del primer botón en al menos el 50 % de las plantas y plena floración con el 50 % de las plantas con al menos una flor formada. A partir de (4) se obtiene la expresión inversa (5) y se calculan los periodos de pre floración y floración sustituyendo $P=0,5$.

$$P = \frac{A}{1 + Be^{-Ct}} \quad (4)$$

$$t^* = \frac{1}{C} \ln \left[\frac{B}{\frac{A}{50} - 1} \right] \quad (5)$$

Para desarrollar un modelo de simulación de las pérdidas de la germinación respecto al incremento de la temperatura, se utilizaron datos tomados en campañas anteriores 2013, 2014 y 2015, utilizando datos promedios a partir de 12 accesiones de *P. vulgaris*. Estas observaciones recogieron valores de la germinación, crecimiento, floración, maduración e indicadores de cosecha, en fechas de siembra correspondientes al mes de julio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa de Germinación

La Tabla 3 presenta los datos correspondientes a los valores de la germinación a los 7, 9 y 16 días posteriores a la siembra en la campaña 2018. Destaca el hecho que, de las 10 accesiones no comerciales, la 'P3289' fue la que mostró los mayores valores a los 7 y 9 días posteriores a la siembra.

Tabla 3. Valores del porcentaje de germinación calculados en tres momentos después de la siembra.

Genotipos	7 dds	9 dds	16 dds
P 3289	26,7 a	83,9 a	92,2 b
P 3306	10,6 bc	41,1 d	95,6 ab
P 3309	10,6 bc	49,4 d	97,2 a
P 3334	14,4 bc	85,6 a	99,0 a
P 3337	18,3 b	48,9 d	94,4 b
P 3609	17,8 b	58,9 c	81,7 d
P 3613	14,4 bc	77,2 ab	87,2 c
P 3785	3,9 c	76,1 ab	87,8 c
P3796	9,4 c	76,1 ab	95,0 ab
P 3797	6,7 c	62,8 bc	80,0 d
Rayado 2258	26,1 a	65,6 b	99,0 a
Caujerí 2170	26,1 a	66,1 b	98,9 a
Velazco Largo	12,8 bc	70,0 b	95,6 ab

dds: días después de la siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

A los 16 dds las variedades comerciales mostraron valores superiores a 95,0 % de la germinación. Dentro de ellas la var. 'Rayado 2258' y la accesión 'P 3334' tuvieron un comportamiento similar al lograr el 99,0 %. Asimismo, las accesiones 'P 3306', 'P 3309' y 'P 3796' se incluyen dentro del grupo que alcanzaron o superaron el 95 %. El valor de temperatura media diaria en los primeros 16 días después de la siembra alcanzó 25,58 °C ligeramente superior a los 25,0 °C, que el frijol

común necesita durante sus primeras dos semanas, para lograr germinar el 100,0 % de sus semillas.

El proceso de supervivencia en condiciones de campo requiere intervalos de temperatura óptimos para cada especie vegetal y para el caso de *P. vulgaris* este se encuentra entre los 20,0 a 25,0 °C, para la media diaria (Martirena *et al.*, 2018), aunque puede tolerar valores máximos durante el día de hasta 30,0 °C, valores que son registrados en varias regiones

productoras de Cuba, en los meses de octubre a enero.

Estos estudios realizados con siembra en el mes de abril, a diferencia de los realizados en campañas anteriores (2013-2015) durante los meses de julio, presentan valores intermedios de temperatura entre la óptima (siembra en octubre) y los valores extremos en los meses más cálidos, de ahí que los valores del porcentaje de supervivencia no se afecten significativamente.

La Figura 1 representa la incorporación de los nuevos datos recogidos en esta campaña al

modelo logístico auto-catalítico (1A) y su ajuste lineal (1B), obtenido a partir de coeficientes ajustados como promedio de grupos de accesiones estudiadas para el cultivo de *P. vulgaris*, al emplear datos observados de 12 accesiones en las campañas 2013, 2014 y 2015 y las 13 estudiadas en 2018, lo cual permitió simular cómo sería el comportamiento del porcentaje de germinación ante incrementos progresivos de la temperatura. Los coeficientes de bondad de ajuste fueron $r^2= 0,98$ y $r^2= 0,97$ respectivamente.

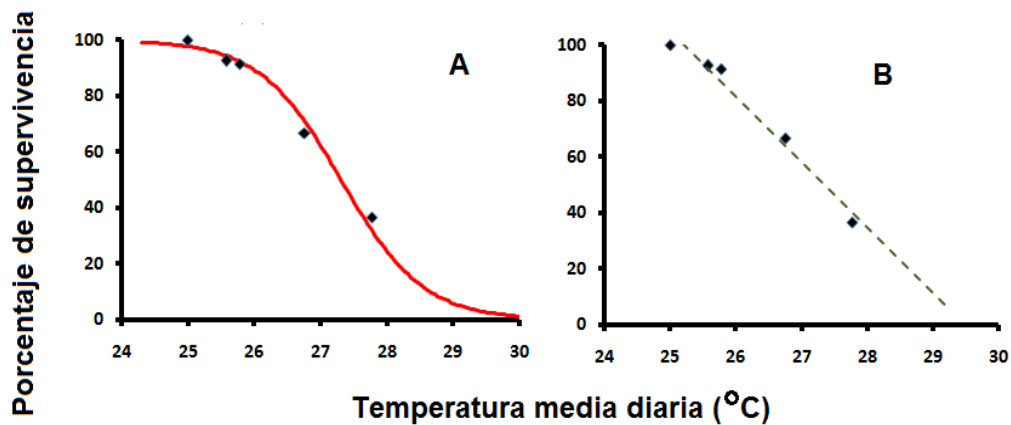


Figura 1. Valores del porcentaje de supervivencia en las dos primeras semanas posteriores a la siembra respecto a la temperatura media diaria promediada durante ese intervalo de tiempo. A- Ajuste por el modelo logístico auto-catalítico y B- Ajuste lineal.

Los valores ajustados por el método de mínimos cuadrados obtenidos fueron $P_0=100$ %, $T_{50}=27,31$ °C y $K=1,63$ °C⁻¹, lo cual indica que en condiciones de campo con una temperatura superior a 27,31 °C, el poder germinativo del cultivo decrece a menos del 50 %, por lo que de manera general se necesitaría el doble de semillas para garantizar un adecuado porcentaje de supervivencia.

El modelo lineal (Figura 1B), permite apreciar un descenso similar cuando la temperatura media sobrepasa los 28,0 °C. Según las fuentes actualizadas sobre el pronóstico, es muy posible

que antes del 2050, se registren esas temperaturas medias en las épocas óptimas del cultivo del frijol (Alves *et al.*, 2020). Variedades comerciales como la 'Rayado 2258' y 'Caujerí 2170' fueron evaluadas como tolerantes en investigaciones previas estudiando otros indicadores morfo-fisiológicos (Cabrera *et al.*, 2013).

La germinación es un proceso asociado a la absorción de agua por la semilla con tres fases: Imbibición, emergencia radicular (acompañado de la ruptura de la testa) y crecimiento de la plántula. La fase de imbibición comienza cuando

la semilla es colocada en un medio con un alto potencial hídrico. Se caracteriza por un considerable flujo de agua hacia los diferentes tejidos y cuya masa de agua llega a superar el valor de masa seca de la propia semilla.

El flujo de agua hacia la semilla depende de la temperatura debido a que su movilidad está relacionada con su viscosidad y ésta a su vez depende de la temperatura (Vertucci y Leopold, 1983) por tanto, al concluir la fase de imbibición el valor del flujo de agua (masa de agua que se absorbe por unidad de tiempo) disminuye considerablemente. Ello viene dado porque los tejidos han absorbido una cantidad de agua cercana al límite permisible, por lo que su nivel de turgencia es relativamente alto (últimas horas de la fase de imbibición).

Las semillas de aquellas variedades que puedan optimizar el proceso de imbibición en situaciones de estrés térmico causado por altas

temperaturas serían las que más posibilidades tendrían de propiciar una respuesta de tolerancia a este tipo de estrés. Experiencias anteriores han demostrado que la variedad 'Rayado 2258' puede ser considerada tolerante al estrés hídrico (Cabrera *et al.*, 2013).

Etapa de Crecimiento

La Tabla 4 representa los valores de la altura de las plantas a los 20, 44, 58 y 78 días posteriores a la siembra, campaña 2018.

La accesión 'P 3785' fue la que mostró el mayor valor de altura durante la etapa de crecimiento. Por regla general las accesiones provenientes del Banco de Germoplasma del INIFAT poseen valores de altura cercana a los 90,0 cm. Sin embargo, la accesión 'P 3334' que mostró una respuesta positiva a las condiciones de altas temperaturas durante la germinación, manifestó un retardo en el crecimiento.

Tabla 4. Valores de la altura de las plantas (cm) de los genotipos provenientes del Banco de Germoplasma del INIFAT en cuatro momentos después de la siembra (20, 44, 58 y 78 dds).

Genotipos	20	44	58	78
P 3289	8,12 c	39,37 b	60,57 b	75,53 b
P 3306	10,62 a	23,77 d	25,68 g	26,53 f
P 3309	8,16 c	37,73 b	58,75bc	73,51 b
P 3334	9,15 b	39,63 b	49,57 d	50,02 e
P 3337	9,06 b	20,25 d	20,50 g	20,60 g
P 3609	7,69 d	23,71 d	37,01 e	44,98 e
P 3613	7,51 d	34,33 c	56,87 c	62,11 d
P 3785	8,60bc	43,10 a	69,73 a	85,00 a
P 3796	8,40 c	42,53 a	60,01 b	72,88 b
P 3797	7,49 d	39,92 b	61,32 b	67,95 c
Rayado 2258	8,97 b	38,37 b	45,38 d	47,50 e
Caujerí 2170	8,05 c	26,60 d	40,32 d	43,78 e
Velazco Largo	12,31 a	27,37 d	31,48 f	33,05 f
Altura promedio	8,78	33,59	47,48	52,88

Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Los valores de la altura de las plantas que pueden determinar la tolerancia relativa entre estas accesiones son las evaluadas a los 20 días, porque es cuando la planta destina la mayor parte de los fotoasimilados al crecimiento, a diferencia de los valores en fechas más avanzadas donde el ciclo biológico entra en otras fases fenológicas. Teniendo en cuenta este criterio las accesiones 'P 3306', 'P 3334', 'P 3337', 'P 3785' y 'Velazco Largo', pueden ser consideradas como las que mejor respuesta expresaron ante las condiciones de altas temperaturas.

De modo general se pudo encontrar que hay una ligera tendencia en estas accesiones a mostrar

una dependencia proporcional negativa entre el porcentaje de supervivencia y la altura de las plantas, aunque no significativa. Experiencias anteriores han demostrado que las plantas bajo condiciones de estrés pueden garantizar su supervivencia casi siempre a costa de no garantizar un adecuado crecimiento o de una pérdida de su biomasa (Yamakawa *et al.*, 2007). Los valores de la Tasa de Crecimiento Absoluta y Relativa se presentan en la Tabla 5. Dentro de las accesiones, la 'P 3334' logró el mayor porcentaje de germinación a los 16 dds y fue la segunda de mayor altura de planta y se incluyó además entre las que presentaron los valores más altos de biomasa entre los 28 y 36 dds.

Tabla 5. Valores de la Tasa de Crecimiento Absoluta y Relativa de las plantas correspondientes a las accesiones estudiadas en dos periodos de tiempo (28 - 36 y 36 -72 dds).

Genotipos	TAC (g.día ⁻¹)		TRC (g.día ⁻¹)	
	28-36 dds	36-72 dds	28-36 dds	36-72 dds
P 3289	0,35 a	1,00 a	0,124 a	0,062 a
P 3306	0,16 c	0,48 d	0,039 e	0,043 c
P 3309	0,13 c	0,65 c	0,042 e	0,057 b
P 3334	0,33 a	0,49 d	0,108 b	0,044 c
P 3337	0,25 b	0,18 e	0,066 d	0,023 e
P 3609	0,12 c	0,66 c	0,057 e	0,066 a
P 3613	0,32 a	0,25 e	0,099 b	0,030 e
P 3785	0,31 a	0,34 e	0,106 b	0,038 d
P 3796	0,27 b	0,55 cd	0,082 c	0,048 c
P 3797	0,16 c	0,27 e	0,070 d	0,040 cd
Rayado 2258	0,25 b	0,46 d	0,088 c	0,047 c
Caujerí 2170	0,22 b	0,73 b	0,093 bc	0,061 ab
Velazco Largo	0,02d	0,03 f	0,006 f	0,007 f

dds: días después de la siembra. Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (p<0,05).

Al comparar los valores de altura de planta en dos momentos del cultivo y la tasa de crecimiento, se observó que a los 20 días hay una tendencia a una relación inversamente

proporcional entre estos indicadores (Figura 2). Los valores del coeficiente de correlación resultaron ser no significativos.

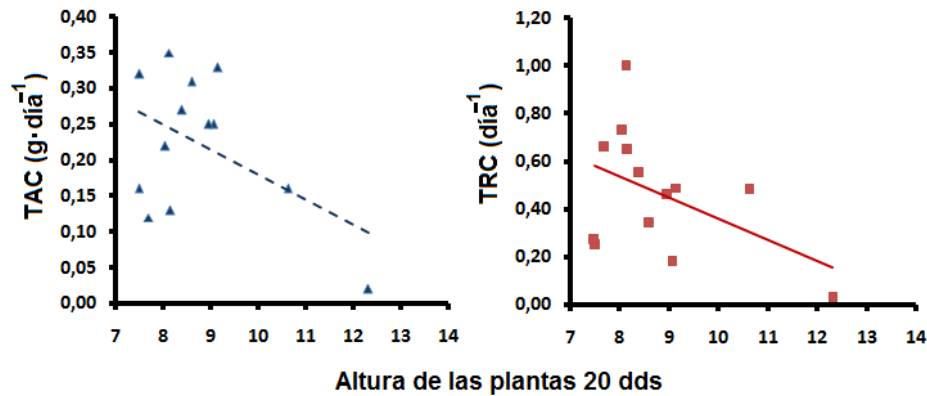


Figura 2. Resultado del análisis de correlación entre los índices "Tasa Absoluta de Crecimiento" (TAC), "Tasa Relativa de Crecimiento" (TRC) y la altura de las plantas a los 20 dds.

La correlación negativa se puede deber a que, bajo situaciones de altas temperaturas durante las primeras semanas, las plantas incrementan su tasa de respiración y limitan la actividad fotosintética (cierre estomático para evitar pérdidas por transpiración), lo cual en ambos casos propicia una disminución de la biomasa vegetal, restringiendo su tasa de crecimiento, a pesar de conseguir un desarrollo en longitud del tallo. Por otra parte, las plantas que mostraron un retraso en el proceso de crecimiento del tallo pudieron aprovechar los fotoasimilados de una forma más adecuada, llegando a obtener los mayores valores de masa seca por planta.

Experiencias anteriores han demostrado bajo estas condiciones de temperaturas extremas en *P. vulgaris* un comportamiento similar, específicamente con la Tasa de Crecimiento Relativa en una etapa del ciclo biológico similar (Socorro, 2016).

Etapas reproductivas

En la Figura 3 se muestran las curvas ajustadas para la brotación y la floración en las accesiones estudiadas. Este ajuste matemático permitió cuantificar el proceso de aparición de los botones en cada una de las plantas

(prefloración) y de la aparición de la primera flor. Conociendo los coeficientes de ajuste fueron posible determinar los períodos de prefloración y floración, asumiendo el 50 % de las plantas con botones y con flores, respectivamente.

La Tabla 6 muestra que las accesiones 'P 3306' y 'P 3613' no pudieron llegar a formar botones en más del 50 % de las plantas ni llegar a la plena floración. Los valores promedios de ambas etapas se encuentran por encima del valor establecido en condiciones óptimas de temperatura, donde algunas variedades comerciales pueden mostrar plena floración antes de los 35 dds.

Al establecer un análisis de correlación entre los valores de la altura de las plantas a los 44 días (fecha cercana al período de la prefloración), se observó que existe una dependencia inversamente proporcional entre este indicador y las fechas de prefloración y floración, no así en el caso de la altura y la tasa de crecimiento (Figura 4).

Es oportuno señalar que pueden existir mecanismos fisiológicos que sustentan el hecho que las plantas ante la acción del estrés activen algún proceso donde incrementen su altura y de esta forma se afecte la producción de biomasa y

el correcto desarrollo de su fase reproductiva, en este caso mostrando una correlación significativa. No obstante, la accesión 'P3785' mostró los mayores valores de altura de las

plantas y floración plena a los 42,8 días, por lo que se mostró como la accesión más precoz en cuanto a la fenología.

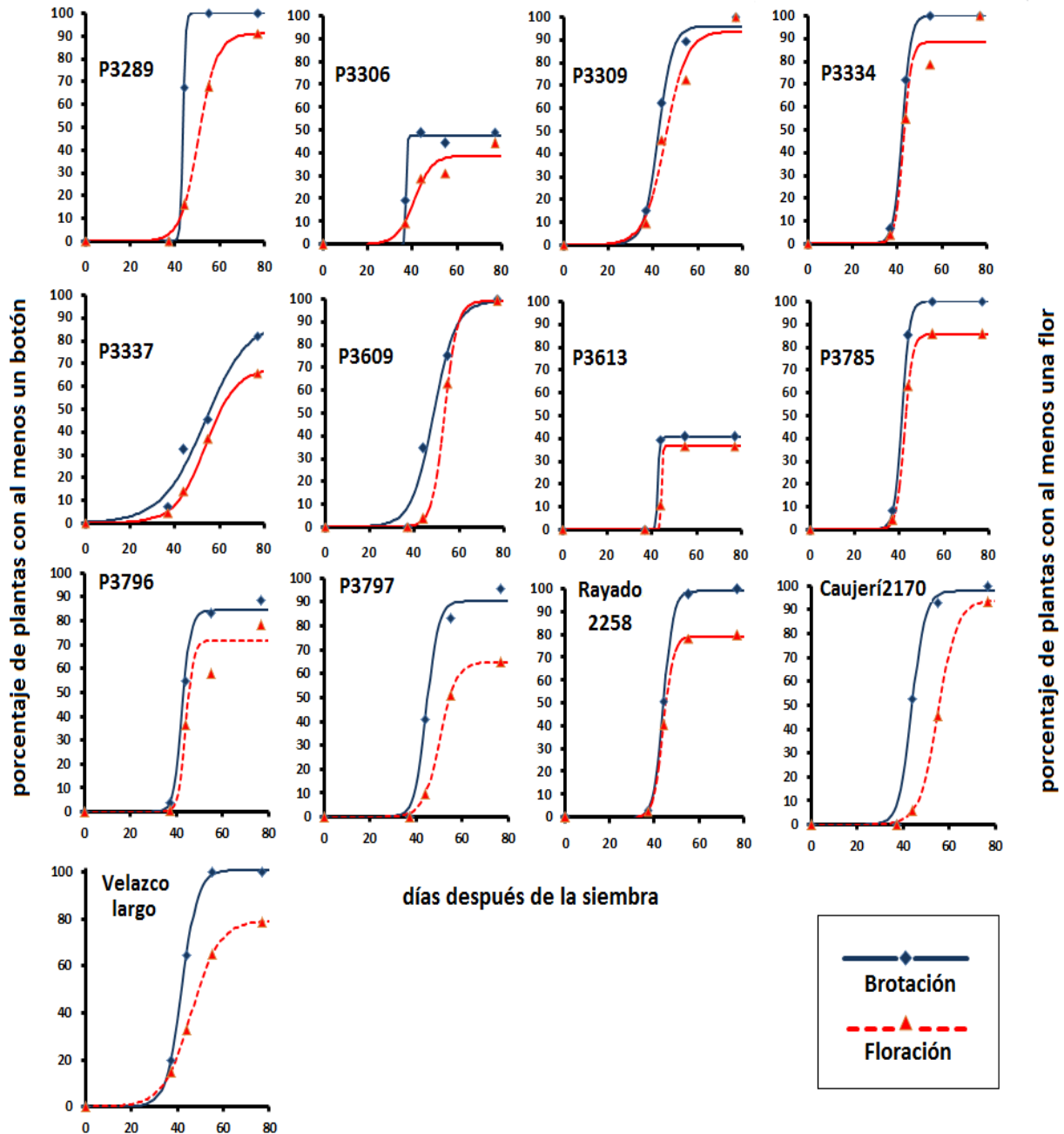


Figura 3. Porcentaje de plantas con botones (brotación) y con flores (floración), ajustados mediante el modelo de la ecuación planteada.

Tabla 6. Valores de los períodos de prefloración y floración para cada accesión estudiada, a partir de los ajustes matemáticos realizados según las ecuaciones empleadas. Tiempo (t), error típico (E) y coeficiente de bondad de ajuste (r).

Genotipos	Prefloración			Floración		
	t* (día)	E (día)	r	t* (día)	E (día)	r
P 3289	43,6	0,1	0,999	51,4	2,3	0,999
P 3306	-	0,25	0,998	-	6,4	0,968
P3309	42,5	4,5	0,997	46,1	9,9	0,986
P 3334	42,2	0,1	0,999	43,1	12,1	0,921
P 3337	55,9	7,5	0,987	60,8	0,8	0,999
P 3609	48,6	8,0	0,992	53,5	0,2	0,999
P 3613	-	0,15	0,999	-	0,16	0,999
P 3785	41,1	0,013	0,999	42,8	0,14	0,999
P 3796	43,2	2,7	0,997	45,5	11,5	0,929
P 3797	45,1	6,2	0,995	54,7	1,2	0,999
Rayado 2258	43,9	0,8	0,999	45,0	0,7	0,999
Caujerí 2170	44,0	6,4	0,996	55,8	0,8	0,999
Velazco Largo	41,9	1,2	0,999	49,2	0,5	0,999
Promedio	43,2			46,8		

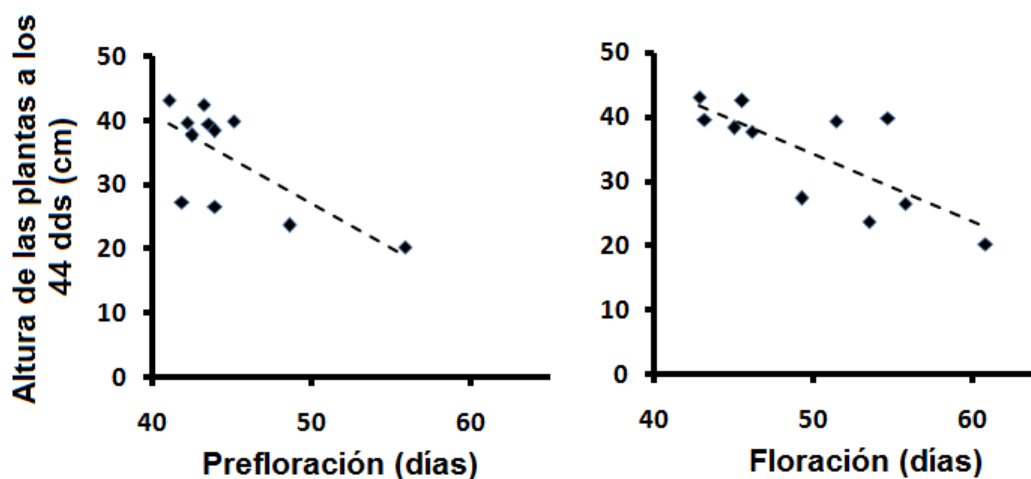


Figura 4. Análisis de correlación lineal entre los períodos de prefloración ($r=0,71$, significativo $p<0,05$) y floración ($r=0,75$, muy significativo $p<0,01$) respecto a la altura de las plantas a los 44 dds.

Varios autores han descrito los efectos negativos de la temperatura sobre el proceso de floración. La temperatura óptima para el crecimiento del tubo polínico en granos de polen de cultivares de frijol corresponde a 25,0 °C y el porcentaje de viabilidad del polen se reduce con temperaturas por encima de 35,0 °C. (Halterlein, 1980). En el mismo sentido, Chaves y Gutiérrez (2017) ya habían demostrado que cuando la temperatura diurna alcanza o sobrepasa los 35 °C, se afecta la viabilidad del polen y la fertilización, producto de la acción que ejercen las altas temperaturas presentes en los períodos tardíos de siembra sobre los procesos de crecimiento y desarrollo, lo cual incide directamente en las fases fenológicas, afectando negativamente los rendimientos.

CONCLUSIONES

- ✓ El porcentaje de germinación en campo (supervivencia), se ajustó a un modelo sigmoideo mediante una distribución logística auto-catalítica, que permite predecir el comportamiento de este indicador ante condiciones de altas temperaturas para *el P. vulgaris*.
- ✓ La variedad comercial 'Rayado 2258' presenta una mejor tolerancia en un estado de desarrollo temprano del cultivo, así mismo la accesión 'P 3785' mostró el mayor valor de altura de las plantas y producción de biomasa y un período de etapa reproductiva más temprano respecto al resto.
- ✓ La mayor respuesta en cuanto a tolerancia a alta temperatura a los 20 días la expresaron las accesiones: 'P 3306', 'P 3334', 'P 3337', 'P 3785' y la variedad comercial 'Velazco Largo'.
- ✓ Se evidenció una dependencia inversamente proporcional significativa

entre la altura de las plantas y los períodos de la fase reproductiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, B.F. (2013). Guía Técnica para la producción del Frijol común. Ed. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7210-67-2.
- Alves da Silva, D.; Ferreira Pinto-Maglio, C.; Oliveira, E.; Moura dos Reis, R.; Morais Carbonell, S. y Chiorato, A. F. (2020). Influence of high temperature on the reproductive biology of dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scientia Agricola*, 77 (3): 2018-2033. ISSN: 1678-992X.
- Cabrera, M.; León, N.; Mendoza, M.J.; López, H.; Ortega, Y. y Marrero, S. (2013). Comportamiento de algunas variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferente grado de tolerancia a la sequía en condiciones de campo. *Agrotecnia de Cuba*, 37(1): 63-69. ISSN: 0538 - 3114.
- Collado, R.; Carabeo, A.; Poveda, I.; Rojas, E.; Leiva, M.; García, L.R.; Veitía, N.; Martirena, A.; Torres, D. y Rivero, L. (2017). Diferenciación de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. mediante respuesta del tejido foliar expuesto a estrés hídrico y salino. *Bioteología Vegetal*, 17 (1): 25-32. ISSN: 2074- 8647, RNPS: 2154.
- Chaves, N. y Gutiérrez, M. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1): 255-271. ISSN: 2215-3608.
- Guzmán, S.H.; Acosta, J.A.; Álvarez, M.A.; García, S. y Loarca, G. (2002). Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México*, 28(2):159-173. ISSN: 0568-2517.
- Halterlein, A.J. (1980). Influence of high temperature on pollen grain viability and pollen tube growth in the stigma of

- Phaseolus vulgaris* L. Journal of the America Society for Horticultural Science, St. Joseph, 105 (1):12-4. ISSN: 0003-1062. ISSN (versión digital): 2327-9788.
- Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D. y Castro, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba. INCA. 91p. ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Maqueira L.A.; Torres de la Noval, W. y Pérez, S.A. (2010). Crecimiento y productividad de variedades de arroz de diferentes ciclos en dos fechas de siembra en la época de frío en Los Palacios Pinar del Río. Cultivos Tropicales, 31(4):87-92. ISSN (versión impresa):0258-5936. ISSN (versión digital): 1819-4087
- Martínez, M.R.; Viguera, B.; Donatti, C.I.; Harvey, C.A. y Alpízar, F. (2017). Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE). Proyecto CASCADA, Conservación Internacional (CI), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), División de Investigación y Desarrollo Turrialba, Costa Rica, 40 p. www.conservation.org/cascade-espanol.
- Martirena, A.; Veitía, N.; Rivero, L.; Torres, D.; García, L.R., Collado, R. y Ramírez, M. (2018). Respuesta de líneas de *Phaseolus vulgaris* L. en época de siembra tardía. Biotecnología Vegetal, 18 (2): 117-123. ISSN: 2074-8647, RNPS: 2154.
- Martínez, E. (2018). Uso de la biodiversidad en agroecosistemas productores de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en San Antonio de los Baños, provincia Artemisa. Tesis en opción al título académico de máster en Agricultura urbana, INIFAT/GAG, 78 p.
- Medina, G.; Ruiz, J.; Rodríguez, V.; Soria, J.; Díaz, G. y Zarazúa, P. (2016). Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13: 2465-2474. ISSN: 2007-0934.
- Socorro, A.; Calderón, S.; Walón, L.; Sánchez, Y. y Bergamini, N. (2016). High temperatures effect on morpho-physiological indicators in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants during the germination and growth in non-optimum season. Journal of Chemical, Biological and Physical Science, 6 (4):1283-1296. ISSN: 2249-1929.
- Socorro, A. (2016). Estudio de los efectos de las altas temperaturas sobre el crecimiento y desarrollo de cultivares de granos de interés agrícola. Informe Científico-Técnico del proyecto: P211LH001011. Programa de Cambio Climático en Cuba: impactos, mitigación y adaptación, Agencia de medio Ambiente. [repositorio.geotech.cu › jspui › bitstream › Efectos altas temperaturas sobr... de PDECEN CUBA](http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/Efectos%20altas%20temperaturas%20sobr.../de/PDECEN%20CUBA).
- Torres, D.; García, L.; Veitía, N.; Martirena, A.; Collado, R.; Rivero, L.; Torres, S. y Acosta, M. (2019). Efecto del tratamiento térmico a altas temperaturas sobre la germinación *in vitro* de semillas de *Phaseolus vulgaris* cv. 'ICA Pijao'. Biotecnología Vegetal, 19 (3): 215 – 223. ISSN: 2074-8647, RNPS: 2154. ISSN: 1609-1841.
- Vertucci, C.W. y Leopold, A.C. (1983). Dynamics of imbibition by soybean embryos. Plant Physiology, 72(1): 190-193. ISSN: 0032-0889. ISSN (versión digital): 1532-2548.
- Walón, L.; Fernández, L. y Shagarodsky, T. (2015). Producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en Cuba. En: Manual para la producción y conservación de semillas. Fernández, L.; Moreno, V.; Shagarodsky, T. y González-Chávez, M. (eds.). La Habana, INIFAT, 103-109. ISBN: 978-9597223-14-6.

Yamakawa, H.; Hirose, T.; Kuroda, M. y Yamaguchi, T. (2007). Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using

DNA microarray. *Plant Physiology*, 144: 258-277. ISSN: 0032- 0889. ISSN (versión digital): 1532- 2548.

Fecha de recepción: 2 julio 2020

Fecha de aceptación: 11 noviembre 2020

Agrotecnia de Cuba
ISSN impresa: 0568-3114
ISSN digital: 2414- 4673
<http://www.grupoagricoladecuba.gag.cu>

