


Artículo original

## Productividad del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Parte I. Rendimiento en función de variables meteorológicas

Lázaro A. Maqueira-López<sup>1\*</sup> 

Osmany Roján-Herrera<sup>1</sup> 

Joselín Solano-Flores<sup>1</sup> 

Iracely M. Santana-Ges<sup>2</sup> 

Dianelys Fernández-Márquez<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios". Km 1½ carretera La Francia, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. CP 22 900

<sup>2</sup>Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", Avenida José Martí No. 270, Pinar del Río, Cuba, CP 20 100

\* Autor para correspondencia: [lalberto@inca.edu.cu](mailto:lalberto@inca.edu.cu)

### RESUMEN

La investigación se desarrolló en áreas de la Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios", Pinar del Río, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). El objetivo fue evaluar la variabilidad del rendimiento en cultivares de frijol y su relación con variables meteorológicas, según fecha de siembra. Se utilizaron seis cultivares de frijol (Holguin 518, Tazumal, Tomeguin 93, Bat 304, Bat 832 y Cuba Cueto 25-9), los cuales se sembraron en cuatro fechas de siembra (octubre 2010, diciembre 2011, enero 2012 y octubre 2012), sobre un suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférico. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas y se evaluó el rendimiento agrícola y sus principales componentes; además, de variables meteorológicas (temperaturas, radiación solar, humedad relativa), en diferentes etapas fenológicas del cultivo. A partir de los resultados es posible concluir que, el rendimiento se relaciona de manera positiva con la temperatura del aire en la fase de crecimiento desde emergencia hasta floración y de manera negativa, durante la fase de floración a cosecha, aspecto asociado a posibles cambios en la disponibilidad de asimilados. Los cultivares en estudio requieren un rango de calor acumulado para completar su ciclo biológico que oscila entre 900 y 1350 °C, aproximadamente.

**Palabras clave:** cultivar, temperatura, fenología

Recibido: 08/01/2020

Aceptado: 26/04/2021

## INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de mayor importancia por su consumo en el mundo. Se cultiva en ambientes muy diversos y son los países de Centroamérica y el Caribe donde se concentran grandes áreas productoras y las poblaciones que más lo consumen, por ser un componente esencial de su dieta diaria <sup>(1,2)</sup> y una fuente rica en proteínas, vitaminas y minerales <sup>(3)</sup>. En Cuba, su cultivo alcanza cada día mayor importancia y el país ha incrementado su siembra de 122 mil hectáreas en el año 2016 a 147 mil en el 2018 <sup>(4,5)</sup>. Sus rendimientos se han mantenido entre 0,8 y 1,0 t ha<sup>-1</sup> inferior al potencial de los cultivares utilizados; no obstante, la producción nacional aún no satisface la demanda de consumo <sup>(6,7)</sup>. Además, el cambio climático se ha convertido en un factor decisivo para la estabilidad de los rendimientos. En los últimos años son más evidentes los eventos meteorológicos extremos, se han modificado los patrones globales de precipitación y la intensidad de las sequías <sup>(8)</sup>. Por lo tanto, promover el uso de cultivares mejor adaptados a las condiciones ambientales actuales, puede contribuir a que las producciones nacionales logren satisfacer la demanda de la población cubana <sup>(9)</sup>.

Estos aspectos evidencian en cierta medida que el comportamiento y la respuesta de los cultivares de frijol a las condiciones ambientales es diferente según la fecha de siembra, por lo que el análisis de las variables meteorológicas puede ser adecuado para detectar las diferencias de adaptación del frijol en un ambiente determinado. Por tanto, acorde con los criterios anteriores, el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar la variabilidad del rendimiento en cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su relación con variables meteorológicas, según la fecha de siembra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en la Unidad Científico Tecnológica de Base “Los Palacios” (UCTB-LP), perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, situada en la llanura sur de la provincia Pinar del Río, a los 22°44’ de latitud Norte y a los 83°45’ de latitud Oeste, a 60 m s.n.m., con pendiente aproximada de 1 %. Se evaluaron seis cultivares de frijol (Holguin 518, Tazumal, Tomeguin 93, Bat 304, Bat 832 y Cuba Cueto 25-9), los cuales fueron sembrados en cuatro fechas de siembra: octubre 2010; diciembre 2011; enero 2012 y octubre 2012.

El suelo del área experimental se clasifica, según la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba <sup>(10)</sup>, como Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférrico. Como resultado del muestreo de suelo del área experimental, se muestran algunas propiedades que caracterizan su fertilidad (Tabla 1).

**Tabla 1.** Algunas propiedades de la capa arable (0-20 cm) que caracterizan la fertilidad del suelo donde se desarrollaron los experimentos

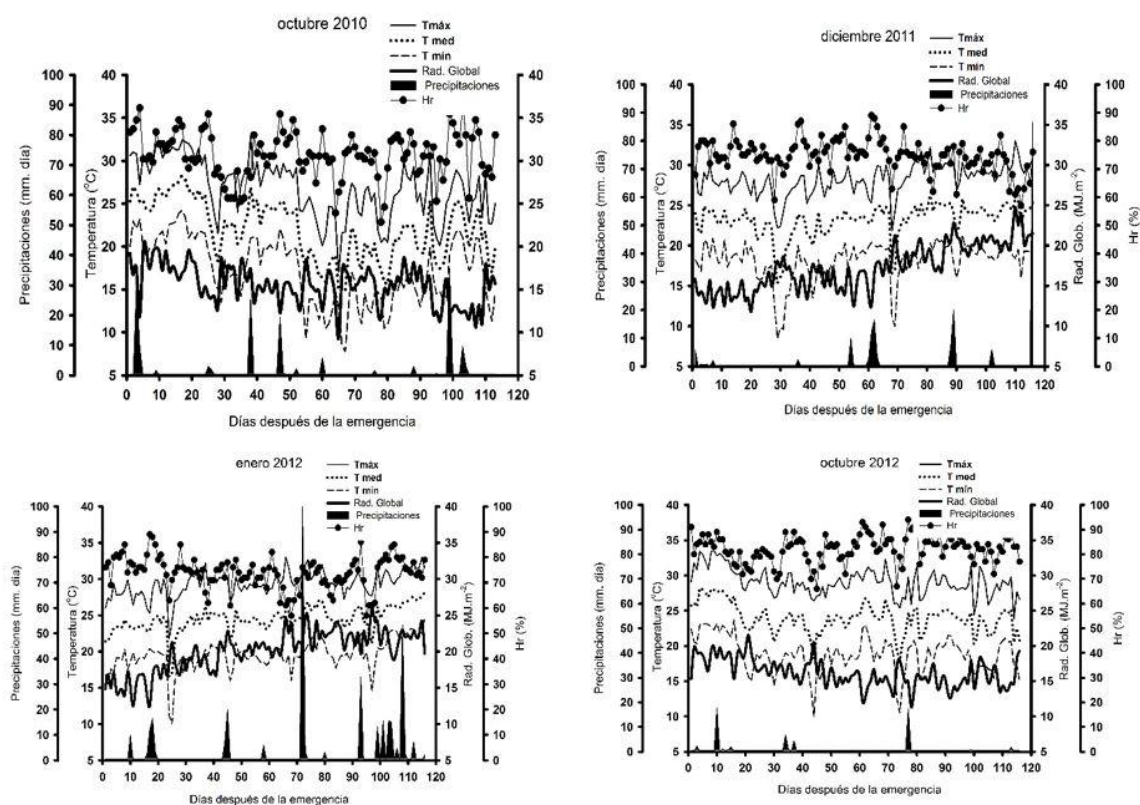
pH	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>+</sup>	Na <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MO
H <sub>2</sub> O	(cmol kg <sup>-1</sup> suelo)				(mg 100 g <sup>-1</sup> de suelo)	(%)
6,31	7,20	3,16	0,18	0,21	19,17	2,02

Las principales características de los cultivares en estudio se presentan en la Tabla 2<sup>(6)</sup>, los que se sembraron por siembra directa a distancia (manual), de 0,70 m entre surco y 0,05 m entre plantas, con una norma de 54 kg ha<sup>-1</sup> de semillas. Las labores fitotécnicas se realizaron según lo recomendado en el Manual Técnico del Cultivo de Frijol<sup>(6)</sup>. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con seis tratamientos (los cultivares) y tres réplicas. Las parcelas experimentales contaron con un área total de 30 m<sup>2</sup>.

**Tabla 2.** Principales características de los cultivares de frijol estudiados en los experimentos

	Holguín 518	Tazumal	Tomeguín 93	Bat 304	Bat 832	CC-25-9
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	2,9	3,0	2,9	2,9	3,2	3,3
Fecha de siembra recomendada	septiembre- enero	septiembre- enero	septiembre- enero	septiembre- enero	septiembre- enero	octubre- noviembre
Días a floración	43	41	38	38	43	47
Días a madurez fisiológica	75	75	69	68	74	86
Ciclo (días)	86	86	80	75	87	100

En la Figura 1 se registra la temperatura máxima, mínima y media diaria (T<sub>máx</sub>, T<sub>mín</sub>, T<sub>med</sub>), las precipitaciones, la radiación solar global (RSG) y humedad relativa (Hr), del período de duración de los experimentos, los cuales fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de Paso Real de San Diego, en Los Palacios.



**Figura 1.** Temperaturas (máxima, media, mínima), precipitaciones, radiación solar global y humedad relativa, tomada de la Estación Agro meteorológica de Paso Real de San Diego durante el periodo que duraron los experimentos

Se calculó la duración en días de cada una de las fases de crecimiento, teniendo en cuenta lo reportado por la guía técnica para la producción de frijol común y maíz, que aparece en la Tabla 3 <sup>(6)</sup>. Cada fase fue decretada cuando más del 50 % de las plantas en las parcelas experimentales presentaron las características acordes a lo descrito.

**Tabla 3.** Descripción de cada una de las diferentes fases del crecimiento en el cultivo del frijol

Fase	Etapa		Identificación del inicio de la etapa
	Código	Nombre	
Vegetativa	V <sub>1</sub>	Emergencia	Los cotiledones aparecen a nivel del suelo.
	R <sub>5</sub>	Prefloración	Los primeros botones o racimos han aparecido
Reproductiva	R <sub>6</sub>	Floración	Se ha abierto la primera flor
	R <sub>9</sub>	Maduración	Cambio de color de al menos una vaina

La sumatoria térmica o grados día acumulados (GDA) fue calculada por el siguiente método <sup>(11)</sup>:

$$GDA = \sum \frac{T_{m\acute{a}xima} + T_{m\acute{i}nima}}{2} - T_{base}$$

Donde

$T_{m\acute{a}xima}$ , temperatura máxima diaria del aire

$T_{m\acute{i}nima}$ , temperatura mínima diaria del aire

$T_{base}$ , temperatura base, que es la temperatura en que el proceso de interés no progresa y se tomó en este caso 10 °C <sup>(5)</sup>.

Para determinar el rendimiento agrícola se cosecharon 8 m<sup>2</sup> del centro en cada parcela experimental, se trillaron las plantas y se secaron los granos hasta alcanzar el 14 % de humedad.

Se caracterizaron climáticamente las cuatro fechas de siembra, a través de un análisis de componentes principales con dichas variables, dividiendo el ciclo del cultivo en dos períodos: V<sub>1</sub>-R<sub>6</sub>, fase vegetativa; R<sub>6</sub>-R<sub>9</sub>, fase reproductiva <sup>(6)</sup>.

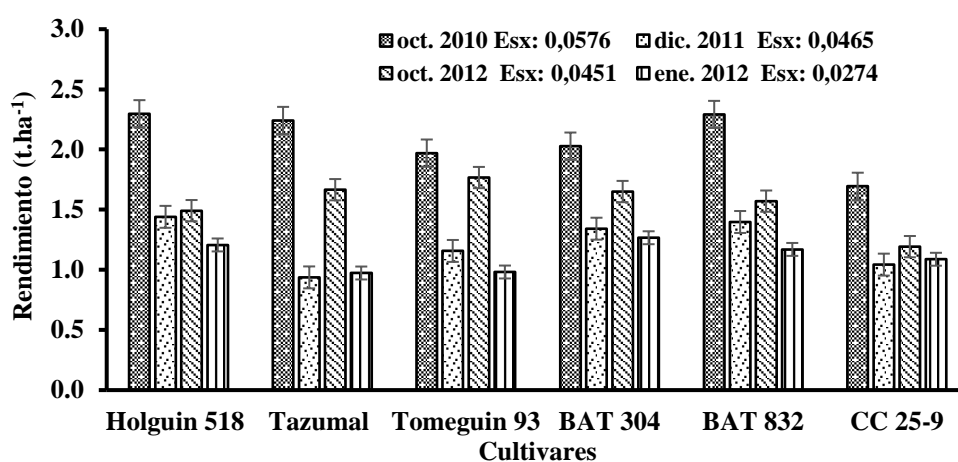
Las medias de las variables evaluadas obtenidas por cultivar y fecha de siembra, se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias significativas entre las medias se determinaron con el test de Tukey (p<0,05). Se construyeron varias matrices de datos, las cuales se procesaron por la técnica multivariada de Componentes Principales, mediante la representación de un Biplot. Se utilizó el paquete estadístico Statgraphics 5.0 <sup>(12)</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del rendimiento agrícola de los cultivares en las diferentes fechas evaluadas. De manera general, se observa una variación de esta variable, tanto entre fechas de siembra, como entre cultivares. Se demuestra que no se puede definir un patrón de comportamiento específico para el rendimiento, por lo que resulta necesario tener en cuenta el papel que juegan los factores

internos, relacionados con el cultivar y los externos, relacionados con el clima, en el proceso de formación del rendimiento. A pesar de esto, los cultivares BAT 304 y BAT 832 mostraron un comportamiento favorable en todas las fechas de siembra.

En octubre 2010, se observa el mejor comportamiento para todos los cultivares con rendimientos de aproximadamente  $2 \text{ t ha}^{-1}$ , valor que difiere de manera significativa con los alcanzados en las demás fechas de siembra (diciembre 2011, octubre 2012 y enero 2012). Sin embargo, en octubre 2012 los rendimientos agrícolas se comportaron cercanos a las  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$  para la mayoría de los cultivares excepto para el cultivar CC-25-9 que alcanzó  $1 \text{ t ha}^{-1}$ .



**Figura 2.** Rendimiento agrícola ( $\text{t ha}^{-1}$ ) al 14 % de humedad del grano de los cultivares de frijol sembrados en cuatro fechas de siembra

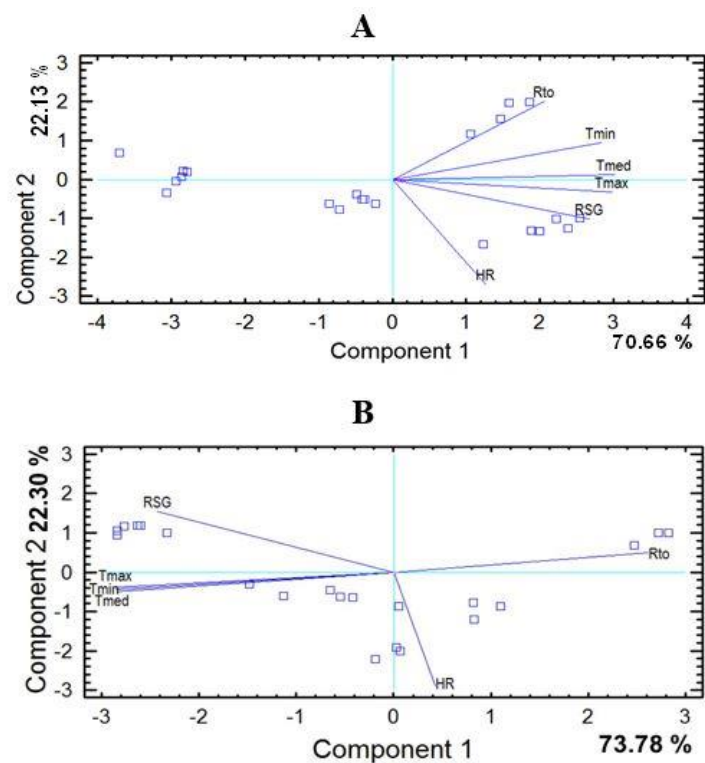
El hecho de que los cultivares alcanzaran los valores más altos del rendimiento en octubre 2010 pudiera estar relacionado con la influencia que ejercen las variables meteorológicas en la formación del rendimiento. Si analizamos el comportamiento de las temperaturas, en esta fecha se observa que entre 40 y 70 días después de la emergencia (estado de floración de los cultivares) las temperaturas fueron relativamente menores en  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  aproximadamente, en comparación con las restantes fechas en igual período (Figura 1). En la literatura se destaca que la variabilidad de los rendimientos está muy relacionada con las condiciones meteorológicas para un cultivar determinado, aspecto que permite explicar cómo unos cultivares responden mejor que otros a las condiciones edafoclimáticas de determinada localidad.

También resultados de otras investigaciones indican la influencia de las temperaturas (entre  $20\text{-}25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) en la estabilidad de los rendimientos de algunas especies de granos, específicamente, arroz, soya y frijol<sup>(13-15)</sup>.

Los resultados en este trabajo demuestran cómo a pesar de la variabilidad en el clima, la respuesta de determinados cultivares (BAT 304 y BAT 832) puede ser positiva ante condiciones locales imperantes, por lo cual resulta importante la selección de estos por localidad. Al respecto, algunos autores plantean que el ambiente en el cual se desarrollan los cultivos agrícolas ejerce un efecto sobre los mismos, este puede ser

positivo o negativo, en dependencia del comportamiento de las variables climáticas. Además, también destacan que resulta interesante conocer que las plantas reflejan un comportamiento diferenciado ante las variables climáticas, lo cual origina que cultivares de una misma especie manifiesten comportamientos diferentes ante un efecto similar de las variables climáticas <sup>(16)</sup>. Estos estudios resultan de gran importancia para los programas de mejoramiento genético, ya que se pueden determinar los parámetros más influenciados por el medio y lograr así un criterio de selección más aceptado.

La representación gráfica del análisis de componentes principales se aprecia en la Figura 3, en la cual se evidencia la asociación del comportamiento del rendimiento agrícola de los cultivares en las diferentes fechas de siembra, frente a las variables meteorológicas, tanto para la etapa V1-R6, como para la de R6-R9.



A: etapa V1-R6, B: etapa R6-R9 Rto: Rendimiento ( $t \cdot ha^{-1}$ ), RSG: Radiación solar global ( $Mjm^2$ ), HR: Humedad relativa (%), Tmax: Temperatura máxima, Tmin: Temperatura mínima. Cultivares: Holguín 518, Tazumal, Tomeguín 93, BAT 304, BAT 832, CC-25-9. Fechas de siembra: octubre 2010, diciembre 2011, octubre 2012, enero 2012

**Figura 3.** Asociación de las principales variables meteorológicas con el rendimiento de los seis cultivares de frijol para las cuatro fechas de siembra

Al tener en cuenta el grado de asociación entre las variables para la etapa V1-R6 (Figura 3A), la mejor asociación positiva con el rendimiento la presentaron los valores de temperatura, sobre todo las temperaturas mínimas. Al respecto, en la literatura se plantea que el frijol es una planta de origen tropical y se desarrolla mejor a temperaturas entre 18 y 24 °C y se destaca que los mayores rendimientos se obtiene a las temperaturas promedio indicadas. Además, se informa que en zonas calurosas se puede producir frijol satisfactoriamente, siempre que las temperaturas nocturnas no sean muy elevadas, ya que las noches

calurosas comúnmente inducen la caída de las flores en detrimento de la producción <sup>(6)</sup>. Las temperaturas bajas (inferiores a 15 °C) pueden provocar disminuciones en el rendimiento, ya que afectan el desarrollo vegetativo por ser muy lento el crecimiento y provocan atrasos en la floración, con lo cual se prolonga considerablemente el ciclo de crecimiento <sup>(17)</sup>.

Para la etapa R6-R9 (Figura 3B) se aprecia una fuerte pero inversa relación entre las temperaturas (máxima, media y mínima) y el rendimiento. Estos resultados indican que un aumento de las temperaturas en ese período puede provocar disminución en el rendimiento o viceversa. Estudios realizados con temperaturas altas demostraron que éstas tuvieron un efecto negativo en el rendimiento (valores que fueron bajos) y la biomasa producida, debido a la tasa de crecimiento más lenta que obtuvo el cultivo, a la vez que disminuyó el tamaño de los granos y se incrementó el arrugamiento de los mismos <sup>(18)</sup>. Se destaca que temperaturas superiores a 30°C hacen disminuir la capacidad productiva, provocan una baja en la producción de flores y vainas y, si el riego no es adecuado, se induce la caída de las flores. Un efecto diferente se observó en ensayos realizados con frijol; donde se encontró buenos resultados en el rendimiento del grano seco cuando las temperaturas fueron bajas (temperatura media mensual de 18 °C y una humedad relativa de 80 % aproximadamente).

En estudios realizados en soya después del comienzo de la floración, se evidencia que las variaciones del rendimiento están asociados a variaciones en el comportamiento de variables meteorológicas, ya que las variables asociadas están relacionadas con posibles cambios en la disponibilidad de asimilados. Por tanto, cuando las temperaturas no son muy altas (no superan los 25 °C), se extiende todo o parte de la duración del crecimiento reproductivo, a la vez que hay una mayor intercepción de la radiación solar y un aumento en la fotosíntesis diaria del cultivo, de esta manera, se garantiza una mayor disponibilidad de fotoasimilados y, por ende, mayor rendimiento <sup>(19)</sup>.

Con los resultados del presente trabajo resulta evidente que la temperatura es la variable que más influencia ejerce en la tasa de desarrollo del cultivo del frijol, desde la emergencia hasta la cosecha, lo que significa que todas las etapas de desarrollo son sensibles a la misma. Los valores de Grados días de calor acumulados (GDCA, °C) para completar fases y el ciclo del cultivo para los diferentes cultivares en estudio aparecen en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Grados días de calor acumulados (GDCA, °C) para completar fases y el ciclo en seis cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Cultivares	Fase V1-R6	Fase R6-R9	V1-R9
Holguín 518	591,05±19,9	551,63±34,2	1142,70±30,8
Tazumal	564,23±20,1	578,48±33,9	1142,70±30,8
Tomeguín 93	523,75±18,9	531,30±30,1	1062,48±29,5
BAT 304	591,23±18,9	468,90±22,9	998,70±25,3
BAT 832	641,55±19,8	558,15±33,8	1149,20±28,2
CC-25-9	641,55±20,7	680,93±44,1	1322,45±36,2

± representa el intervalo de confianza de las medias, n=4

V1: emergencia, R6: floración; R9: maduración

Los cultivares requieren un rango de calor acumulado para completar su ciclo biológico que oscila entre 900 y 1350 °C aproximadamente, aunque teniendo en cuenta que Holguín 518, Tazumal, Tomeguín 93, BAT 304 y BAT 832 solo llegan hasta 1200 °C, se pudieran agrupar como cultivares que necesitan un rango de temperatura similar; mientras que CC-25-9 como requiere valores cercanos a 1300 °C, pudiera agruparse con otros cultivares de un ciclo más largo, que requieren mayor GDCA, por lo que se pudieran continuar los estudios para agrupar cultivares en función de esta variable .

El tiempo térmico se utiliza, generalmente, para incluir los efectos de la temperatura y describir la temporización de los procesos biológicos de la planta; o sea, se puede definir como la cantidad de grados-día necesarios para completar un determinado proceso de desarrollo o fase fenológica <sup>(20)</sup>. Por lo que en este estudio el tiempo térmico debió tener cierta incidencia en la duración de la etapa, de manera tal que pudiera dar respuesta a las variaciones en el rendimiento. A partir de estos resultados es posible explotar, de manera conveniente, las condiciones del clima, en relación a las características genéticas de los cultivares y así aprovechar el período más idóneo para el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo, la eficiencia y la oportunidad en la aplicación de los insumos y la mano de obra a utilizar. Se pueden manejar las fechas de siembra y seleccionar los cultivares adecuados en determinada localidad; teniendo en cuenta el comportamiento de las temperaturas como elemento fundamental.

## CONCLUSIONES

- El rendimiento se relaciona, de manera positiva, con la temperatura del aire en la fase de crecimiento de emergencia a floración y de manera negativa durante la fase de floración a cosecha, aspecto asociado a posibles cambios en la disponibilidad de asimilados.
- Los cultivares en estudio requieren un rango de calor acumulado para completar su ciclo biológico que oscila entre 900 y 1350 °C, aproximadamente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Estrada Prado W, Chávez Suárez L, Jerez Mompie E, Nápoles García MC, Sosa Rodríguez A, Cordoví Domínguez C, et al. Efecto del Azofert® en el rendimiento de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de déficit hídrico. Centro Agrícola. 2017;44(3):36–42.
2. González-Cueto O, Abreu-Ceballos B, Herrera-Suárez M, López-Bravo E. Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2017;26(1):71–7.
3. Calero Hurtado A, Castillo Y, Quintero E, Pérez Y, Olivera D. Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista de la Facultad de Ciencias. 2018;7(1):88–100.
4. ONEI, Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Anuario Estadístico de Cuba 2017. Capítulo 9. Cuba: Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca; 2017. 30 p.
5. ONEI, Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Anuario Estadístico de Cuba 2018. Capítulo 9. Cuba: Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca; 2018. 31 p.
6. Faure Alvarez B, Benítez González R, Rodríguez Acosta E, Grande Morales O, Torres Martínez M, Pérez Rodríguez P. Guía técnica para la producción de frijol común y maíz. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical; 2014 p. 39.
7. FAO-FAOSTAT. Estadísticas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016.
8. Urbina I, Sardans J, Beierkuhnlein C, Jentsch A, Backhaus S, Grant K, et al. Shifts in the elemental composition of plants during a very severe drought. Environmental and experimental botany. 2015;111:63–73.
9. de la Fé Montenegro CF, Lamz Piedra A, Cárdenas Travieso RM, Hernández Pérez J. Respuesta agronómica de cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de reciente introducción en Cuba. Cultivos Tropicales. 2016;37(2):102–7.
10. Hernández Jiménez A, Pérez Jiménez JM, Bosch-Infante D, Castro Speck N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA. 2015;93:91.
11. Parra-Coronado A, Fischer G, Chaves-Cordoba B. Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Acta Biológica Colombiana. 2015;20(1):163–73.
12. Statistical Graphics Crop. STATGRAPHICS® Plus [Internet]. 2000.(Profesional). 2000.
13. Huang M, Shan S, Zhou X, Chen J, Cao F, Jiang L, et al. Leaf photosynthetic performance related to higher radiation use efficiency and grain yield in hybrid rice. Field Crops Research. 2016;193:87–93.
14. Maqueira-López LA, Rojan-Herrera O, Mesa SAP, Noval WT la. Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la localidad de los Palacios. Cultivos Tropicales. 2017;38(3):58–63.

15. Eid AR, Bakry BA, Taha MH. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. 2013;
16. Gonzalo RH, García MJ. Relaciones entre el rendimiento y sus componentes de dos líneas de frijol común (*P. vulgaris* L.) con algunas variables climáticas. Centro Agrícola. 2003;30(4).
17. Rosas JC. El cultivo del frijol común en América Tropical. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana; 2003 p. 62.
18. Liu B, Liu X-B, Wang C, Jin J, Herbert SJ, Hashemi M. Responses of soybean yield and yield components to light enrichment and planting density. International Journal of Plant Production. 2012;4(1):1–10.
19. Martignone R, Enrico J, Bodrero M, Adriani J, Sonmarti N. Rendimiento de soja en siembras muy tardías: características diferenciales entre cultivares. EEA Oliveros INTA. 2016;54:137–43.
20. Garcés-Fiallos FR, Ampuño-Muñoz SA, Vásquez-Montúfar GH. Agronomía, producción y calidad de grano de variedades de soya durante dos épocas de cultivo. Bioscience Journal. 2014;30(5).