**EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL FRIJOL, EL RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS.**

EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON BEAN PRODUCTIVITY, YIELD AS A FUNCTION OF METEOROLOGICAL VARIABLES

Dr. C. Lázaro A. Maqueira López1

Ing. Osmany Roján Herrera2,

MSc Rogelio Morejón Rivera3*,*

*1 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, UCTB Los Palacios, Cuba,*

*2 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, UCTB Los Palacios,*

*3 Universidad de Pinar del Rio*

[alberto@inca.edu.cu](mailto:alberto@inca.edu.cu), [orojan@inca.edu.cu](mailto:orojan@inca.edu.cu) , [iracely@upr.edu.cu](mailto:iracely@upr.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 determinar el efecto del cambio climático en la productividad del frijol a partir de la variabilidad del rendimiento y su relación con variables meteorológicas. 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 Petroférrico. Se evaluó el rendimiento agrícola y sus principales componentes; además de, variables meteorológicas (temperaturas, radiación solar, humedad relativa), en diferentes etapas fenológicas del cultivo. El cambio climático provoca un efecto negativo en el rendimiento del cultivo del frijol con una reducción considerable de los rendimientos, sobre todo por las variaciones en el comportamiento de las temperaturas del aire. 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 fases de floración a cosecha, aspecto asociado a posibles cambios en la disponibilidad de asimilados.

**Palabras Clave:** Cultivar, temperatura**,** fenología.

**Abstract.**

The research was developed in the areas of the Base Technological Science Unit, Los Palacios, Pinar del Río, belonging to the National Institute of Agricultural Sciences. The objective was to evaluate the variability of the yield in bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.), associated with meteorological variables according to the sowing date. Six bean cultivars were used (Holguin 518, Tazumal, Tomeguin 93, Bat 304, Bat 832 and Cuba Cueto 25-9 (CC-25-9)), which were sown on four different sowing dates (october 2010, december 2011, january 2012, october 2012 ), on a Hydromorphic floor Gley Nodular Ferruginous Petroferric. The agricultural yield and its main components were evaluated, as well as meteorological variables (temperatures, solar radiation, relative humidity), in different phenological stages of the crop. The Climate change causes a negative effect on bean crop yield with a considerable reduction in yields, especially due to variations in the behavior of air temperatures. The performance is positively related to the temperature of the air in the phase of emergency growth to flowering, and in a negative way, during the phases of flowering to harvest, aspect associated with possible changes in the availability of assimilated.

**Key words:** cultivate, temperature, phenology.

1. **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 (1, 2) y una fuente rica en proteínas, vitaminas y minerales (3). 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 (4, 5). Sus rendimientos se han mantenido entre 0,8 y 1,0 t ha-1 inferior al potencial de los cultivares utilizados, no obstante la producción nacional aún no satisface la demanda de consumo (6, 7). 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 (8). 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 (9).

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.

1. **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 de 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 trabajó con datos de 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 (10), como Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférrico. Como resultados del muestreo de suelo del área experimental, se muestran algunas propiedades que caracterizan su fertilidad (Tabla I).

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

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| pH H2O | Ca++ | Mg+ | Na++ | K+ | P2O5 | MO |
| cmol. kg-1 Suelo | | | | mg. 100 g-1 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 II (6), 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-1 de semillas. Las labores fitotécnicas se realizaron según lo recomendado en el Manual Técnico del Cultivo de Frijol (6). 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 m2.

**Tabla II.** Principales características de los cultivares de frijol estudiados en los experimentos (6).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Holguin 518 | Tazumal | Tomeguín 93 | Bat 304 | Bat 832 | CC-25-9 |
| Rendimiento (t/ha-1) | 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 máx, T mín, T med), 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.

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 III (6). Cada fase fue decretada cuando más del 50 % de las plantas en las parcelas experimentales presentaron las características acordes a lo descrito.

**Tabla III:** Descripción de cada una de las diferentes fases del crecimiento en el cultivo del frijol (6).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Fase | Etapa | | Identificación del inicio de la etapa |
| Código | Nombre |
| Vegetativa | V1 | Emergencia | Los cotiledones aparecen a nivel del suelo. |
| R5 | Prefloración | Los primeros botones o racimos han aparecido |
| Reproductiva | R6 | Floración | Se ha abierto la primera flor |
| R9 | Maduración | Cambio de color de al menos una vaina |

Para determinar el rendimiento agrícola se cosecharon 8 m2 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: V1-R6, fase vegetativa; R6-R9, fase reproductiva (6).

Las medias de las variables evaluadas obtenidas por cultivar y fecha de siembra, se sometieron a análisis de varianza (ANAVA), 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 Statgraphics5.0(11; 12).

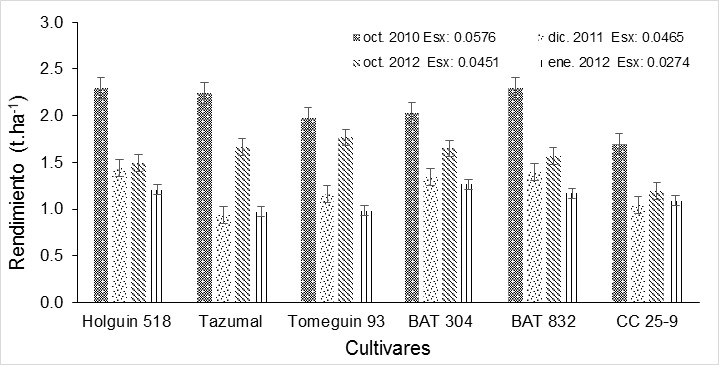
|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
| **Figura 1.** Temperaturas (máxima, media, mínima), precipitaciones, radiación solar global y humedad relativa, tomada de la Estación Agro meteorológica de Paso Real de San Diego durante el periodo que duraron los experimentos. | |

1. **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 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 t.ha-1 para la mayoría de los cultivares excepto para el cultivar CC-25-9 que alcanzó 1 t.ha-1.

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°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.



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

También resultados de otras investigaciones indican la influencia de la temperaturas (entre 20-25 °C) en la estabilidad de los rendimientos de algunas especies de granos específicamente arroz, soya y frijol (13, 14, 15). A partir de la variabilidad climática existente en los últimos años, resulta evidente que el cambio climático provoca un efecto negativo en el rendimiento del cultivo del frijol con una reducción considerable de los rendimientos, sobre todo por el aumento de las temperaturas del aire.

Los resultados en este trabajo demuestran como 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 comportamiento diferente ante un efecto similar de las variables climáticas (16). Estos estudios resultan de gran importancia para los programas de mejoramiento genético, ya que se puedan determinar los parámetros más influenciados por el medio y lograr así un criterio de selección más aceptado, aspecto de vital importancia para ampliar la biodiversidad de cultivares de frijol en el sector agropecuario.

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** |
| **B** |
| **Figura 3.** Asociación de las principales variables meteorológicas con el rendimiento de los seis cultivares de frijol para las cuatro fechas de siembra. A: etapa V1-R6, B: etapa R6-R9 Rto: Rendimiento (t.ha-1), RSG: Radiación solar global (Mjm2), HR: Humedad relativa (%), Tmax: Temperatura máxima, Tmin: Temperatura mínima. Cultivares: Holguin 518, Tazumal, Tomeguin 93, BAT 304, BAT 832, CC-25-9. Fechas de siembra: octubre 2010, diciembre 2011, octubre 2012, enero 2012. |

Al tener en cuenta el grado de asociación entre las variables para la etapa V1-R6 (Figura 3 A), 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 promedios 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 (6). 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 (17).

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 (18). Se destaca que temperaturas superiores a 30°C hacen disminuir la capacidad productiva, provocan una baja en la producción de flores y vainas, además, 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, y de esta manera, se garantiza una mayor disponibilidad de fotoasimilados y por ende mayor rendimiento (19).

1. **Conclusiones**

El cambio climático provoca un efecto negativo en el rendimiento del cultivo del frijol con una reducción considerable de los rendimientos, sobre todo por las variaciones en el comportamiento de las temperaturas del aire. 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 fases de floración a cosecha, aspecto asociado a posibles cambios en la disponibilidad de asimilados.

**Bibliografía**

1. Estrada, W., Chávez, L., Jerez, E., Nápoles, M. C., Sosa Rodríguez A., Cordoví Domínguez C., Celeiro Rodríguez F. Efecto del Azofert ® en el rendimiento de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de déficit hídrico. Revista Centro Agrícola. 2017:44(3):36-42.
2. González-Cueto O., Abreu Ceballo 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):70-77.
3. Calero, 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. Facultad Ciencias Universidad Nacional de Colombia. 2018:7(1):88–100. doi:10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.67773
4. ONEI, Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Anuario Estadístico de Cuba 2017. Cap. 9. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. 30 pp.
5. ONEI, Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Anuario Estadístico de Cuba 2018. Cap. 9. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. 31 pp.
6. Faure, B.; Benítez, R.; Rodríguez, E.; Grande, O.; Torres, M. y Pérez, P. Guía Técnica para la producción de frijol común y maíz. Ed. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical, 2014, La Habana, Cuba, 39 p. ISBN 978-959-296-036-7.
7. FAO. Dirección de Estadísticas: FAOSTAT (en línea). Consultado el 12 de marzo de 2016. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostatgateway/go/to/home/S>
8. Urbina I, Sardans J, Beierkuhnlein C, Jentsch A, Backhaus S, Grant K, Kreyling J, Peñuelas J. Shifts in the elemental composition of plants during a very severe drought. Environmental and Experimental Botany. 2015:111: 63–73. doi:10.1016/j.envexpbot.2014.10.005
9. De la fé, C. F., Lamz, A., Cárdenas, R. M. Y Hernández, J. Respuesta agronómica de cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de reciente introducción en Cuba. Cultivos Tropicales.2016:37(2):102-107.doi: 10.13140/RG.2.1.2992.2805
10. Hernández, J. A.; Pérez, J. J. M.; Bosch, I. D. y Castro, S. N. Clasificación de los suelos de Cuba. Ed. Ediciones INCA, 2015, Mayabeque, Cuba, 93 p., ISBN978-959-7023-77-7.
11. Parra –Coronado A, Fischer G, Chaves Coroba B. Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Buret). Acta Biológica Colombiana.2015:20(1): 163-173. doi.org/10.15446/abc.v20n1.43390
12. Statistical Graphics Crop. STATGRAPHICS® Plus [Internet]. 2000. (Profesional). Available from: http:// www.statgraphics.com/statgraphics/statgraphics.nsf/ pd/pdpricing.
13. Huang M, Shan S, Zhou X, Chen J, Cao F. Jiang L, Zou Y. Leaf photosynthetic performance related to higher radiation use efﬁciency and grain yield in hybrid rice. Field Crops Research*.* 2016;30(60): 1-7. doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.009
14. Maqueira-López, L. A.; Roján-Herrera, O.; Pérez Mesa, S. A. y Torres-de la Noval, W. Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro **(***Phaseolus vulgaris*L.)en la localidad de Los Palacios.Cultivos Tropicales, 2017, 38(3): 58-63. ISSN.1819-4087.
15. Ramadan EA, Ahmed BB, Hamed TM. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. Agricultural Sciences*.* 2013: 4(5): 249-261. doi.org/10.4236/as.2013.45036
16. Hernández Gonzalo, René, and María Jó García. "Relaciones entre el rendimiento y sus componentes de dos líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con algunas variables climáticas. Centro Agrícola. 2003. 30(4):80-85.
17. Rosas, Juan C., et al. El cultivo del frijol común en América tropical. Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano, Honduras, 2003. 62 p.
18. Bing LX, Wang Ch, Jin J, Herbert SJ, Hashemi M. Responses of soybean yield and yield components to light enrichment and planting density. International Journal of Plant Production. 2010, 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: 137-143.