

Estimación de las variables dinámicas de programación del riego en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)



<https://cu-id.com/2177/v33n2e02>

Estimation of the dynamic variables of irrigation scheduling in common bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.)

¹Yarisbel Gómez-Masjuan^{1*}, ¹Norge Tornés-Olivera¹,
²Oscar Brown-Manrique², ²Arnaldo Manuel Guerrero-Alega¹

¹Universidad de Granma (UDG), Departamento de Producción Agrícola, Peralejo, Bayamo M. N, Granma, Cuba.

²Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez” (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN: La investigación se desarrolló entre los meses de noviembre de 2020 a marzo de 2021 y tuvo como objetivo estimar el coeficiente del cultivo, la profundidad radicular y el factor de abatimiento, en función del tiempo térmico. El área de la investigación pertenece a la UBPC Grito de Yara, Granma, Cuba, la cual se encuentra ubicada a los 20° 25' 02" de Latitud N y a los 76° 53' 27" de Longitud O. La estimación del coeficiente del cultivo, crecimiento radicular y fracción de agotamiento, se realizó mediante modelos curvilíneos en función de los grados día. La estimación del crecimiento radicular en el cultivo de frijol, mediante los tres modelos evaluados, en función de los grados día, es confiable y, es un indicador de suma utilidad para la programación del riego, ya que facilita la estimación oportuna de la lámina de agua a partir de la profundidad de la raíz. Los grados día de crecimiento explican los niveles de agotamiento permisibles de agua en el suelo para el cultivo de frijol; al respecto, se corroboró que el modelo curvilíneo es exacto, lo cual permite el manejo del riego, utilizando la información de los grados día, para evitar estrés hídrico.

Palabras clave: grados día, raíz, fracción de agotamiento.

ABSTRACT: The research was carried out between the months of November 2020 and March 2021 and aimed to estimate the crop coefficient, root depth and abatement factor, depending on thermal time. The research area belongs to the UBPC Grito de Yara, Granma, Cuba, which is located at 20° 25' 02" N Latitude and 76° 53' 27" O Longitude. The estimation of the crop coefficient, root growth and exhaustion fraction was carried out using curvilinear models as a function of degree days. The estimation of root growth in the bean crop, using the three models evaluated, depending on the degree days, is reliable and is a very useful indicator for irrigation programming, since it facilitates the timely estimation of the sheet of water from the depth of the root. Growing degree days explain the allowable depletion levels of soil water for bean cultivation; In this regard, it was confirmed that the curvilinear model is accurate, which allows irrigation management, using information on degree days, to avoid water stress.

Keywords: Degree Days, Root, Depletion Fraction.

INTRODUCCIÓN

Para programar el riego de manera científica, se requiere conocer las tres variables dinámicas de programación a lo largo del ciclo fenológico del cultivo según (Servín *et al.*, 2017), que definen la capacidad evapotranspirativa del cultivo, la zona extractiva de la raíz y la sensibilidad al estrés: coeficiente de cultivo (Kc), profundidad radical (Pr) y la fracción de agotamiento (f). En los sistemas de

producción agrícola sostenibles, donde se aplica un manejo consistente y uniforme de los cultivos y agua de riego, es posible establecer una relación precisa entre Kc, f, Pr y los grados día (°D) (Olivera *et al.*, 2018). De esta forma, es posible determinar el grado de estrés hídrico del cultivo en función de los °D, con la finalidad de establecer los calendarios de riego (USDA, 1991). La estimación de los grados día, concepto también conocido como tiempo térmico (TT)

*Autor para correspondencia: Yarisbel Gómez-Masjuan, e-mail: ygomez@udg.co.cu,

Recibido: 20/03/2023

Aceptado: 13/03/2024

según (Aguilar *et al.*, 2020), es un factor determinante en la interacción suelo-clima-planta, el cual se relaciona con las etapas de desarrollo de los cultivos según Servin *et al.*, (2018); Bispo *et al.*, (2022) y, de suma utilidad para realizar estimaciones en función del desarrollo del cultivo y la profundidad de raíces (Achinas *et al.*, 2020).

Desde esta perspectiva, los coeficientes o parámetros se ajustan a las condiciones meteorológicas imperantes en el sitio bajo estudio, para obtener curvas normalizadas de los coeficientes basados en °D. Los valores de K_c son de uso limitado según Chavarría *et al.* (2020) cuando se definen en función de los días después de la emergencia u otra unidad de tiempo. Su uso se restringe a localidades con clima similar al del sitio donde las curvas fueron obtenidas, ya que no toma en cuenta los efectos de la variabilidad climática temporal, en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Tradicionalmente se ha tomado un valor de f igual a 0,5. Sin embargo, el valor depende tanto del cultivo como del suelo, el manejo del riego y las condiciones ambientales. Al inicio del ciclo un cultivo puede estresarse, por lo que el valor de f es grande; en la medida que alcanza sus periodos críticos, como la floración o formación de frutos, f alcanza su valor mínimo (Covarrubias *et al.*, 2019). La investigación partió de la hipótesis de que el desarrollo fenológico del cultivo de frijol, expresado en grados día, permite conocer las variables dinámicas de programación del riego que definen la capacidad evapotranspirativa, la zona extractiva radical y la sensibilidad al estrés y, tuvo como objetivo estimar el coeficiente del cultivo, la profundidad radicular y el factor de abatimiento, en función del tiempo térmico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del ensayo experimental

La investigación se desarrolló entre los meses de noviembre de 2020 a marzo de 2021. El área de la investigación pertenece a la UBPC Grito de Yara, perteneciente a la Empresa Agropecuaria Paquito Rosales de Gramma, Cuba, la cual se encuentra ubicada a los 20° 25' 02" de Latitud N y a los 76° 53' 27" de Longitud O con una altura de 6 m.s.n.m.

Metodología de campo

El experimento se desarrolló sobre un suelo Fluvisol según (Hernández *et al.*, 2015), con un contenido de materia orgánica menor de 2%. Las principales propiedades hidrofísicas del suelo son las siguientes: textura franca arcillosa, densidad aparente de 1,36 g cm⁻³, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) de 0,38 y 0,22 cm³ cm⁻³, respectivamente, para 0 a 30 cm. Se estudió la variedad de frijol común Buenaventura, la cual tiene

un rendimiento potencial de 2,99 t ha⁻¹, el hábito de crecimiento es determinado (Tipo II), el ciclo es de 79 d y, se recomienda su siembra desde septiembre hasta enero. Se utilizó un marco de siembra de 0,05 m entre plantas y 0,45 m entre hileras. El área se regó con una máquina de pivote central marca Bayatusa 2000, con una longitud de 350 m.

La programación del riego se realizó mediante el método del potencial hídrico del suelo (tensiómetros) para lo cual se instalaron cuatro tensiómetros en el cuadrante seleccionado (I), agrupados en dos estaciones de medida, lo cual aseguró la validez de las lecturas. Las mediciones de la longitud de las raíces se realizaron con una frecuencia semanal, en cuatro puntos de muestreo seleccionados del surco central del cuadrante número I de la máquina de pivote central. En cada punto de muestreo se seleccionaron 5 plantas. Se observó el tiempo de emergencia del 90% de las plantas, mediante el conteo de las plantas germinadas en los cuatro puntos de muestreo. Los datos de temperatura mínima, máxima y media fueron proporcionados por la Estación Agrometeorológica de Veguitas, perteneciente a la red de estaciones del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), la cual está ubicada a una distancia menor de 2 km de la parcela experimental.

Cálculo de las variables dinámicas

Coefficiente del cultivo

El coeficiente del cultivo se determinó en función de los grados días, según Ojeda-Bustamante *et al.* (2004):

$$K_c = K_{m\acute{a}x} \operatorname{erfc}\left(\left(\frac{x - x_{K_{m\acute{a}x}}}{\alpha_1}\right)^2\right) \quad (1)$$

Si $K_c < K_1$ entonces $K_c = K_1$

donde: $K_{m\acute{a}x}$ es el máximo valor de K_c durante el ciclo del cultivo; erfc es la función error complementaria; x expresa los grados días de crecimiento acumulado ($\Sigma^{\circ}D$) normalizado con respecto al total de °D requeridos para terminar su ciclo fenológico normal; $x_{K_{m\acute{a}x}}$ es el valor de los días grado de crecimiento acumulado donde se presenta el valor de $K_{m\acute{a}x}$; α_1 es el parámetro de regresión obtenido por ajuste de datos experimentales al modelo; K_1 es el coeficiente de cultivo para la primera etapa fenológica que depende principalmente de la evaporación del suelo. Los grados días de crecimiento se calcularon según procedimiento descrito por (McMaster y Wilhelm, 1997). El valor de la temperatura base del cultivo 9 °C y máxima 30 °C, se tomaron de Raes *et al.* (2022).

Cálculo profundidad radicular

La profundidad radicular, se estimó mediante modelos empíricos, los cuales se compararon entre sí,

para proponer el modelo más adecuado para la simulación en la zona de estudio:

$$P_r = P_{m\dot{m}} + (P_{m\dot{a}x} - P_{m\dot{m}}) \frac{t}{t_{m\dot{a}x}} \quad \text{Ferreres et al. (1981)}$$

$$P_r = P_{m\dot{a}x}, \quad t > t_{m\dot{a}x} \quad (2)$$

$$P_r = P_{m\dot{a}x}, \quad t > t_{m\dot{a}x}$$

$$P_r = P_{m\dot{m}} + (P_{m\dot{a}x} - P_{m\dot{m}}) \frac{K_c(t)}{K_{c,m\dot{a}x}} \quad \text{para } t \leq t_{m\dot{a}x} \quad \text{Ojeda-Bustamante \& Flores-Velázquez (2015)}$$

$$P_r = P_{m\dot{a}x}, \quad \text{para } t \geq t_{m\dot{a}x} \quad (3)$$

$$P_r = P_{m\dot{m}} + (P_{m\dot{a}x} - P_{m\dot{m}}) \sqrt[n]{\frac{(t - \frac{t_0}{2})}{t_{m\dot{a}x} - \frac{t_0}{2}}} \quad \text{Raes et al. (2022)} \quad (4)$$

dónde: P_r es la profundidad radicular estimada, m; $P_{m\dot{m}}$ es la profundidad radicular mínima o de siembra, m; $P_{m\dot{a}x}$ es la profundidad radicular máxima, m; t es el tiempo después de siembra, °D; $t_{m\dot{a}x}$ es el tiempo en llegar a la profundidad radical máxima, °D; $K_c(t)$ es el valor del coeficiente de cultivo a un tiempo t y $K_{c,m\dot{a}x}$ es el valor máximo del coeficiente de cultivo; n factor de forma, determinado mediante ajuste entre los datos observados y simulados; t_0 tiempo en alcanzar el 90% de emergencia de las plántulas, °D.

Evaluación de los modelos

La evaluación de la exactitud de los modelos que predicen la profundidad radicular, se realizó mediante análisis gráfico y la utilización de tres índices estadísticos: El coeficiente de determinación (R^2): representa el porcentaje de la variabilidad de los valores observados que ha sido explicado por el modelo de regresión ajustado. Los valores mayores de 0,50 se consideraron aceptables y los superiores a 0,80 se califican de bueno.

$$R^2 = \frac{Scr}{Sct} \times 100 \quad (5)$$

dónde: R^2 es el coeficiente de determinación, %; Scr la suma de cuadrados debido a la regresión; Sct la suma total de cuadrados.

El error cuadrático medio normalizado (NRMSE): es un parámetro estadístico que permite considerar una simulación como excelente cuando se alcanza un valor menor que el 10%; buena si se encuentra entre 10 y 20%; adecuada si está entre 20 y 30% y pobre si es mayor que 30% (Raes et al., 2022).

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{M}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - S_i)^2}{N}} \quad (6)$$

dónde: \bar{M} es la media de los valores medidos, m; M_i los valores medidos, m; S_i los valores simulados; N el número de observaciones.

El índice de aceptación (d): es una medida del error relativo en las estimaciones del modelo. Es un número

adimensional que varía entre 0 y 1, se consideraron valores altos cuando fue mayor que 0,65.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|S_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)} \quad (7)$$

Cálculo de la fracción de agotamiento

El modelo lineal, propuesto por Ojeda et al. (2004), estima la fracción de agotamiento (f) a partir del coeficiente de cultivo (K_c) con la relación siguiente:

$$f = \alpha_3 - \alpha_4 K_c \quad (8)$$

dónde: α_3 es la interceptada al origen, su valor se asocia al sistema de riego, para pivote central es 0,45 Ojeda-Bustamante et al. 2004)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los grados día y coeficientes del cultivo por etapas

El cultivo cambia de etapa fenológica cuando el tiempo térmico alcanza el valor requerido para la misma. Por ejemplo, la etapa de la primera hoja trifoliada (V3) tuvo una duración de 4 días y se alcanzó cuando el cultivo acumuló 123 °D (Tabla 1). La etapa más larga (R8) tuvo una duración de 17 días y se alcanzó cuando el cultivo acumuló 632 °D. El ciclo del cultivo requiere un total de 1005 °D. La incorporación del concepto grados día para programar los riegos, ha demostrado ser una excelente herramienta, que se puede aplicar tanto en parcelas como en grandes zonas de riego, incluso en condiciones variables de clima y de disponibilidad de agua.

El K_c tiene una variación distinguible de acuerdo con la etapa fenológica (Tabla 1). Durante las etapas Vo y V1 el valor de K_c es bajo (0,1). El cultivo empieza a consumir agua hasta que emerge. Sin embargo, desde que se siembra el valor del K_c es mayor que cero ya que considera la evaporación del suelo. Para las siguientes etapas (V2-R5), el valor del K_c (0,15-0,92) refleja la fisiología del cultivo y su área foliar. Cuando el cultivo alcanza cobertura máxima R6 y R7, el valor del K_c es máximo (1,1) ya que el cultivo está capturando la máxima cantidad de radiación solar. En la etapa final (R8 y R9) el consumo de agua del cultivo empieza a disminuir gradualmente hasta llegar a la cosecha.

Rodríguez, (2023) determinó los valores de K_c del cultivo de frijol, a partir de la relación del balance de humedad y, reportaron valores de 0,45 para las primeras etapas, de 1 para las etapas intermedias y de 0,38 para la final. El K_c de las primeras etapas (0,45) difiere del encontrado en esta investigación (0,1); no obstante, existe similitud entre el resto de los K_c . (Zamora y Duarte, 2022) reportaron valores de K_c superiores a los encontrados en esta investigación para todas las etapas del cultivo.

TABLA 1. Coeficiente del cultivo por etapa fenológica en función de los °D

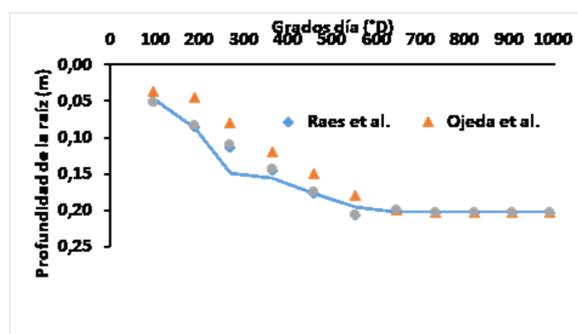
Etapas	Código	Duración (d)	GD (°D)	GDA ($\Sigma^{\circ}D$)	Kc
Germinación	V0	4	55,2	55,2	0,1
Emergencia	V1	2	27,3	82,5	0,1
Hojas primarias	V2	3	40,5	123	0,15
Primera hoja trifoliada	V3	4	54	177	0,23
Tercera hoja trifoliada	V4	6	80	257	0,51
Prefloración	R5	8	108	365	0,92
Floración	R6	13	175	540	1,1
Formación de vainas	R7	7	92	632	1,1
Llenado de vainas	R8	17	214	846	0,9
Maduración	R9	13	159	1005	0,34

Análisis de la estimación de la profundidad radicular

La extracción de agua por las raíces es crítica para el desarrollo de un cultivo. La curva que describe la profundidad radicular, presentó una pendiente muy elevada hasta los 0,15 m de profundidad y 270 °D (Figura 1), que se expresa mediante un segmento de recta con una inclinación que tiende a la vertical, lo cual confirma el crecimiento acelerado el cultivo en este periodo. La profundidad radicular máxima (0,22 m) se alcanzó cuando el cultivo acumuló 645 °D. El ajuste gráfico, demostró que los modelos simularon razonablemente bien los valores de las profundidades radiculares observadas; no obstante, los modelos de [Fererres et al. \(1981\)](#) y [Raes et al. \(2022\)](#), presentaron las menores desviaciones para todo el ciclo del cultivo.

En el caso del modelo de [Ojeda et al. \(2004\)](#), se encontró un mayor rango de dispersión en comparación con los modelos anteriores, aunque el ajuste gráfico fue satisfactorio para las profundidades mayores. Los tres modelos tienden a subestimar la profundidad radicular, especialmente, entre los 257 °D y 365 °D. En este intervalo se encuentran las etapas R4 y R5, que es donde el cultivo tiene la llamarada de crecimiento, y los algoritmos de los modelos no la consideran.

Los índices estadísticos utilizados en la evaluación de la exactitud de los modelos (Tabla 2) permitieron corroborar que los datos simulados se ajustaron, excelentemente, a los observados, lo cual se evidencia mediante el coeficiente de determinación con valores elevados de 0,98, 0,87 y 0,96, para los modelos [Fererres et al. \(1981\)](#); [Raes et al. \(2022\)](#); [Ojeda et al. \(2004\)](#), respectivamente. El NRMSE demostró que, las simulaciones con los modelos de [Fererres et al. \(1981\)](#); [Raes et al. \(2022\)](#), fueron excelentes, al tener valores 9,9 y de 7,1%, respectivamente. La simulación con modelo de [Ojeda et al. \(2004\)](#), resultó ser buena al presentar un valor de 17%. El índice de aceptación presentó valores altos ($>0,65$) para los tres modelos. Estos valores demostraron que los tres modelos fueron capaces de simular, adecuadamente, la profundidad

**FIGURA 1.** Comportamiento de la profundidad radicular observada y simulada.

radicular, lo que se corresponde con los resultados reportados por [Fererres et al. \(1981\)](#), [Raes et al. \(2022\)](#) y [Ojeda-Bustamante et al. \(2004\)](#).

TABLA 2. Valores de los índices estadísticos de la simulación

Modelo	R2	NRMSE (%)	d
Fererres et al. (1981)	0,98	9,9	0,98
Ojeda-Bustamante et al. (2004)	0,87	17	0,94
Raes et al. (2022)	0,96	7,1	0,98

De forma general, los modelos utilizados representaron, adecuadamente, el comportamiento de la raíz en función la variación climática, característica de los modelos curvilíneos ([Servín et al., 2017](#)). Los modelos permiten regar hasta $Pr=0,20$ m y evitar percolación, con lo que se logra mayor eficiencia en el uso del agua, toda vez que se reduce la lámina total de riego que se aplica.

Análisis de la fracción de agotamiento y su relación con Kc

Los modelos de f y Kc vs. °D, reflejan una respuesta curvilínea (Figura 2), toda vez que representan la respuesta del cultivo como ser vivo, que es afectado por el clima ([Servín et al., 2018](#)). El modelo para estimar la fracción de agotamiento está relacionado en forma inversa con el coeficiente de

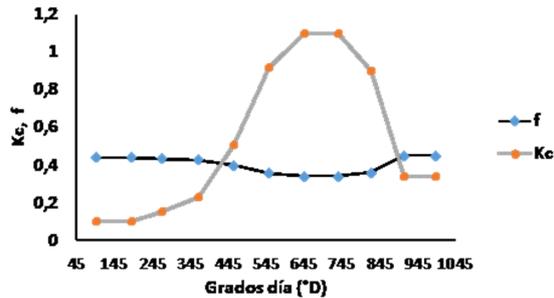


FIGURA 2. Relación entre el Kc y P con los grados día acumulados.

cultivo, dado por la pendiente negativa de la recta. Lo anterior está relacionado con el hecho de que, cuanto mayor es el requerimiento hídrico del cultivo, más sensible es al estrés hídrico.

El valor f disminuye con el aumento de K_c hasta los 735 °D, lo cual sugiere la necesidad de realizar riegos más frecuentes para promover el crecimiento del cultivo y se encuentra dentro del intervalo de 0,34 a 0,44. De forma inversa f aumenta con la disminución de K_c desde los 821 °D hasta 907 °D, lo cual sugiere una reducción de la frecuencia de riego y se encuentra en el intervalo de 0,36 a 0,45. Los valores reportados de f por (USDA, 1991), son superiores a los encontrados en esta investigación para las diferentes etapas. Por ejemplo, para siembra - prefloración (0,7), floración- formación de vainas (0,4), llenado de las vainas - maduración (0,5).

Por otra parte, (Allen et al., 1998) reportan valores de 0,45 para condiciones de evapotranspiración de 5 mm d⁻¹ y reducciones de entre un 5 y 10%, para suelos similares a los de esta investigación. El valor de f varía normalmente entre 0,30 para plantas de raíces poco profundas, a tasas altas de ET_c (> 8 mm d⁻¹), hasta 0,70 para plantas de raíces profundas y tasas bajas de ET_c (< 3 mm d⁻¹). El valor f para riegos con alta frecuencia (riego por goteo) varía generalmente entre 0,2 y 0,6, mientras que en los riegos con baja frecuencia (riego por gravedad) varía entre 0,4 y 0,8.

CONCLUSIONES

- La estimación del crecimiento radicular en el cultivo de frijol, mediante los tres modelos evaluados, en función de los grados día, es confiable y, es un indicador de suma utilidad para la programación del riego, ya que facilita la estimación oportuna de la lámina de agua a partir de la profundidad de la raíz.
- Los grados día de crecimiento explican los niveles de agotamiento permisibles de agua en el suelo para el cultivo de frijol; al respecto, se corroboró que el modelo curvilíneo es preciso durante el desarrollo del cultivo, el cual es sensible al déficit hídrico, por lo que la precisión del manejo del agua

de riego, utilizando la información de los grados día, es fundamental para evitar estrés hídrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHINAS, S.; ZAND, S.; KAMGAR, A.A.; SHAHSAVAR, A.R.; NIYOGI, D.: "Evapotranspiration, crop coefficients, and physiological responses of citrus trees in semi-arid climatic conditions", *Agricultural Water Management*, 227: 105-838, 2020, ISSN: 0378-3774, DOI: [10.1016/j.agwat.2019.105838](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105838).
- AGUILAR, C.E.; FLORES, J.; ROJANO, F.; OJEDA, W.; IÑIGUEZ, M.: "Estimación del ciclo de cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero, con base en grados días calor (GDC) simulados con CFD", *Tecnología y ciencias del agua*, 11(2): 27-57, 2020, ISSN: 2007-2422, DOI: [10.24850/j-tyca-2020-04-02](https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-04-02).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M.: "Evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements", FAO Irrigation and drainage paper, 56: 300, 1998, ISSN: 0254-5293.
- BISPO, R.; HERNANDEZ, F.; GONÇALVES, I.Z.; NEALE, C.; TEIXEIRA, A.: "Remote sensing based evapotranspiration modeling for sugarcane in Brazil using a hybrid approach", *Agricultural Water Management*, 271: 107763, 2022, ISSN: 0378-3774, DOI: [10.1016/j.agwat.2022.107763](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107763).
- CHAVARRÍA, J.E.; UGANDO, M.; SABANDO, A.R.; MUÑOZ, J.P.; BRAVO, R.X.; VILLALÓN, A.: "Necesidades hídricas del frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). calculadas con el coeficiente de cultivo utilizando lisímetro de drenaje", *Ciencia y Agricultura*, 17(3): 111-121, 2020, ISSN: 0122-8420, e-ISSN: 2256-2273, DOI: [10.19053/01228420.v17.n3.2020.11746](https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11746).
- FERERES, E.; GOLDFIEN, R.; PRUITT, W.; HENDERSON, D.; HAGAN, R.: "The irrigation management program: A new approach to computer assisted irrigation scheduling", En: ASAE publication (USA), *ASCE Congress of Irrigation Scheduling for Water and Energy Conservation*, Ed. American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, USA, pp. 202-207, 1981, ISBN: 84-8474- . in the 80's.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, Ed. INCA ed., 93 p., San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- MCMMASTER, G.S.; WILHELM, W.: "Growing degree-days: one equation, two interpretations", *Agricultural and forest meteorology*, 87(4): 291-300, 1997, ISSN: 0168-1923. DOI: [10.1016/S0168-1923\(97\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0)

- OJEDA, W.; SIFUENTES, E.; SLACK, D.C.; CARRILLO, M.: "Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree days concept: application to a potato crop", *Irrigation and drainage*, 53(3): 251-261, 2004, ISSN: 1531-0353, DOI: [10.1016/S0168-1923\(97\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0).
- RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.; FERERES, E.: "AquaCrop Reference manual (Version 7.0)", En: *AquaCrop Reference manual (Version 7.0)*, Ed. FAO, Roma, vol. Chapter 3 calculation procedures, Roma. Italia, pp. 1-175, 2022.
- RODRÍGUEZ, C.D.: *Modelo de gestión integral del riego en sistemas con máquinas de pivote central eléctrico en el cultivo del frijol en suelos fersialítico pardo rojizo*, Universidad de Ciego de Ávila, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Ciego de Ávila, Cuba, 100 p., 2023.
- SERVIN, M.; SÁNCHEZ, R.A.; RAMÍREZ, O.; GALINDOS, M.A.; GUTIÉRREZ, H.: "Modelos para programación y optimización de agua de riego en avena forrajera", *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(4): 667-684, 2018, ISSN: 2007-1124, e-ISSN: 2310-2799, DOI: [10.22319/rmcp.v9i4.4404](https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i4.4404).
- SERVÍN, M.; TIJERINA, L.; MEDINA, G.; PALACIOS, O.; FLORES, H.: "Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2): 423-430, 2017, ISSN: 2007-0934, DOI: [10.29312/remexca.v8i2.61](https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.61).
- USDA: Irrigation. In *National Engineering Handbook*. 210-VI, NEH 15-1, Ed. United States Department of Agriculture (USDA), 2nd Edition ed., 1991.
- ZAMORA, H.E.; DUARTE, C.: "Coeficientes únicos de cultivo (Kc) de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Cuba.", En: *Convención de Ingeniería Agrícola*, La Habana, 2022, Ed. IAgriC, La Habana, Cuba, 2022.

Yarisbel Gómez-Masjuan, MSc., Profesor Auxiliar, Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Granma - Carretera a Manzanillo km/17 Peralejo - Apartado 21 - Bayamo M. N. Código Postal 85149 - Granma - Cuba - (Teléfono: (53 23) 292673 e-mail: ygozmez@udg.co.cu).

Norge Tornés-Olivera, Dr.C., Profesor Titular, Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Granma (UDG), Cuba. e-mail: ntorneso@udg.co.cu.

Oscar Brown-Manrique, Dr.C., Profesor Titular, Director del Centro de Estudios Hidrotécnicos, Universidad de Ciego de Ávila "Máximo Gómez Báez" (UNICA), Ciego de Ávila, Cuba. e-mail: oscarbrowmanrique@gmail.com.

Arnaldo Manuel Guerrero-Alega, MSc., Profesor Asistente, Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Granma (UDG). Cuba. e-mail: aguerreroa@udg.co.cu.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: **Conceptualización:** Y. Gómez. **Curación de datos:** Y. Gómez y N. Tornés. **Investigación:** Y. Gómez, A. M. Guerrero. **Metodología:** Y. Gómez y O. Brown. **Supervisión:** N. Tornés y O. Brown. **Validación:** Y. Gómez y N. Tornés. **Papeles/Redacción, borrador original:** Y. Gómez y N. Tornés. **Redacción, revisión y edición:** Y. Gómez y N. Tornés.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)