

**Programación del riego mediante tensiómetros en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)****(Original)****Irrigation scheduling using tensiometer in dry bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) (Original)**

Yarisbel Gómez Masjuan. Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias Agrícolas. Profesor

Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. [ygoomez@udg.co.cu](mailto:ygoomez@udg.co.cu) 

Norge Tornés Olivera. Ingeniero Agrónomo. Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias.

Profesor Titular. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. [ntorneso@udg.co.cu](mailto:ntorneso@udg.co.cu) 

Arnaldo Manuel Guerrero Aleaga. Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias Agrícolas. Profesor

Asistente. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. [aguerreroa@udg.co.cu](mailto:aguerreroa@udg.co.cu) 

Recibido: 11-12-2023/Aceptado: 18-01-2024

**Resumen**

La investigación se desarrolló entre los meses de noviembre de 2020 a marzo de 2021. El área de la investigación pertenece a la Unidad Básica de Producción Cooperativa Grito de Yara de la Empresa Agropecuaria Paquito Rosales, de Granma, Cuba, ubicada a los 20° 25' 02" de Latitud N y a los 76° 53' 27" de Longitud O. El objetivo del artículo es elaborar un diagrama de manejo y operación del riego con máquinas de pivote central, en el cultivo de frijol, considerando la tensión matricial. El experimento se desarrolló sobre un suelo Fluvisol. Se estudió la variedad de frijol común Buenaventura. La fecha de siembra fue el 10 de noviembre 2020. La programación del riego, se realizó mediante el método de la tensión hídrica del suelo (tensiómetros). Los riegos se aplicaron cuando los tensiómetros de la primera capa (0-15 cm) marcaron la tensión matricial definida (-30+(-5) cbar). En las condiciones del ensayo, las medidas de la tensión matricial del

suelo a 0.30 m de profundidad constituyen un buen indicador de la disponibilidad de agua del suelo y, por lo tanto, se considera una herramienta eficaz para la monitorización del riego en el cultivo de frijol. La diferencia encontrada en cuanto a la utilidad de las medidas tensiométricas a 15 cm y 30 cm, indica la importancia de elegir las láminas adecuadas de riego y del conocimiento del patrón de absorción de agua, como elementos básicos para el correcto manejo del riego.

**Palabras clave:** humedad del suelo; tensión matricial; lámina de riego; diagrama de manejo de riego.

### **Abstract**

The research was developed from November 2020 to March 2021. The research area belongs to the Basic Unit of Cooperative Production Grito de Yara of the Agricultural Enterprise Paquito Rosales, Granma, Cuba, located at 20° 25' 02" N Latitude and 76° 53' 27" W Longitude. The objective of the article is to elaborate a diagram of irrigation management and operation with center pivot machines, in the cultivation of beans, considering the matrix tension. The experiment was developed on a Fluvisol soil. The common bean variety Buenaventura was studied. The planting date was November 10, 2020. Irrigation scheduling was carried out using the soil water tension method (tensiometers). Irrigation was applied when the tensiometers of the first layer (0-15 cm) marked the defined matrix tension (-30+(-5) cbar). Under the trial conditions, soil matrix tension measurements at 0.30 m depth are a good indicator of soil water availability and, therefore, are considered an effective tool for irrigation monitoring in the bean crop. The difference found in the usefulness of tensiometric measurements at 15 cm and 30 cm, indicates the importance of choosing the appropriate irrigation sheets and the knowledge of the water absorption pattern, as basic elements for the correct irrigation management.

**Keywords:** soil moisture; matrix tension; irrigation lamina; irrigation management diagram.

## **Introducción**

La programación del riego constituye una de las principales actividades que el técnico de riego debe atender. Para ello, deberá tener toda la información sobre las necesidades hídricas de los cultivos, las propiedades hidrofísicas de los suelos, condiciones climáticas del lugar y las particularidades de la tecnología de riego disponible (Bonet, 2019). Para el manejo apropiado del riego con máquinas de pivote central, se requiere de la evaluación por parte del agricultor de las necesidades de riego de cada cultivo, en base a varios parámetros físicos del suelo. Algunos productores utilizan equipos sofisticados mientras que otros se basan en métodos empíricos, cualquiera que sea el método usado, cada uno tiene sus propios méritos.

En la programación de riego, la tendencia es a que actúen menos factores subjetivos y se logre mayor eficiencia en el manejo del agua (Aziz et al., 2022; Sundaram et al., 2022). Por esta razón, para determinar el momento idóneo del riego, conviene utilizar algún método que apoye la decisión de regar y debe considerarse que, la humedad del suelo se expresa en uno de los dos modos siguientes: 1) por la cantidad de agua que él contiene o 2) por la tensión con que el agua está retenida ( $\psi_m$ ). El primer modo de expresión es necesario cuando se trabaja en el balance de ganancias y pérdidas de agua; mientras que el segundo permite conocer el movimiento y la disponibilidad del agua para las plantas.

Para establecer la relación entre la tensión hídrica y la humedad en el suelo, se utilizan las curvas de retención de humedad que reflejan la capacidad del suelo para retener agua en función de la succión (Núñez et al., 2020); dicha relación depende de los factores relacionados con la porosidad del suelo. Entre otros factores que pueden influir en la retención del agua, se destaca la textura, tipo de arcillas, la materia orgánica y la estructura.

La respuesta de las plantas a la humedad parece estar más relacionada con el trabajo requerido para extraer una unidad de agua (tensión) que con cualquier otro factor aislado (Bahadur & Singh, 2021). Durante las últimas dos décadas, en Cuba se ha realizado un notable esfuerzo en la determinación de los requerimientos de agua por el cultivo de frijol y el límite de humedad del suelo, al que es necesario aplicar el riego considerando el contenido de humedad o la tensión del suelo (González et al., 2016; Tornés et al., 2016; González et al., 2017; González et al., 2019; Duarte et al., 2021; Rodríguez et al., 2021); sin embargo, la programación del riego utilizando tensiómetros en el cultivo de frijol es una práctica poco utilizada en Cuba, por la complejidad que presenta establecer las relaciones entre tensión-humedad-operación de las máquinas de pivote central, sobre todo para productores no especializados en la ingeniería de riego.

El objetivo del artículo es elaborar un diagrama de manejo y operación del riego con máquinas de pivote central, en el cultivo de frijol, considerando la tensión matricial

### **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 Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Grito de Yara de la Empresa Agropecuaria Paquito Rosales de Granma, Cuba, la cual se encuentra ubicada a los  $20^{\circ} 25' 02''$  de Latitud N y a los  $76^{\circ} 53' 27''$  de Longitud O, con una altura de 6 m.s.n.m.

#### *Metodología de campo*

El experimento se desarrolló sobre un suelo Fluvisol (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  $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ , capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) de 0,38 y  $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , respectivamente, para 0 a 30 cm, agua disponible  $0.2 \text{ m m}^{-1}$ . Se estudió la variedad de frijol común Buenaventura, la cual tiene un rendimiento potencial de  $2,99 \text{ t ha}^{-1}$ , el hábito de crecimiento es determinado (Tipo II), el ciclo es de 79 d. La fecha de siembra fue el 10 de noviembre. 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 de la tensión hídrica del suelo (tensiómetros), para lo cual seleccionaron dos estaciones de medida al 15% y el 85% de la longitud del lateral en el cuadrante seleccionado (I). En cada estación se instalaron dos tensiómetros, uno a la profundidad de 0.15 m y el otro a 0.3 m, lo cual aseguró la validez de las lecturas. Los riegos se aplicaron cuando los tensiómetros de la primera capa (0-15 cm) marcaron la tensión matricial definida (-30+(-5) cbar).

#### *Cálculos de las curvas de humedad y de las láminas de riego*

En una fase previa se construyó la curva tensión-humedad volumétrica del suelo, para lo cual se realizaron lecturas de los tensiómetros diariamente, entre las 10:00 y 11:00 am, hasta alcanzar el valor de -80 cbar. La humedad volumétrica se midió, simultáneamente, con el sensor de humedad marca TP-SR-1, el cual trabaja acoplado a un registrador de datos de la serie TZS y tiene una precisión de medición de  $\pm 3\%$ .

La lámina neta de reposición se calculó según la siguiente expresión propuesta por los autores:

$$L_N = 10 P_r (CC - H_{30}) \quad (1)$$

Donde:  $L_N$  es la lámina neta de reposición,  $mm$ ;  $P_r$  la profundidad a humedecer de las raíces (0.2 m),  $m$ ;  $CC$  el contenido de humedad a la capacidad de campo, % del volumen de suelo;  $H_{30}$ , el contenido de humedad a la tensión de -30  $cbar$ , % del volumen de suelo.

Para el cálculo de la lámina bruta se consideró una eficiencia del sistema de riego de 85%:

$$L_b = \frac{L_N}{0,85} (mm) \quad (2)$$

Donde  $L_b$  lámina bruta de reposición,  $mm$ .

Para la elaboración del diagrama de operación y manejo del riego en función de  $\psi_m$ , se utilizó el Informe de Porcentaje Cronométrico que brinda el fabricante del sistema (*Western*).

### **Análisis y discusión de los resultados**

La succión matriz es una función del contenido hídrico y la representación gráfica de esta relación origina las curvas características de humedad. El suelo estudiado tiene una curva (trayectoria de vaciado) de retención hídrica suave, gradual, sin inflexiones (figura1). Este comportamiento se debe, fundamentalmente, a dos factores: a) la distribución del tamaño de los poros y b) los efectos osmóticos de la doble capa difusa coloidal.

Se observa que existe un primer tramo de la curva donde la pendiente es horizontal y se mantiene hasta, aproximadamente, una tensión de -10  $cbar$ , en que se inicia una transición de humedad; en este tramo, el agua se encuentra en forma continua. Se observa también que existe un segundo tramo, donde se produce una reducción de la pendiente con el aumento de la tensión y se encuentra en el rango de -10 a -30  $cbar$ . El contenido de humedad correspondiente a -30  $cbar$  es de  $0.3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  y representa el 38% del agua disponible.

Finalmente, existe un tercer tramo de baja pendiente, en donde se producen cambios en la succión, sin presentar cambios apreciables en el contenido de humedad, hasta llegar a un valor de

succión de -80 cbar; por ejemplo, para una variación de -50 a -80 cbar, el contenido de humedad del suelo varía entre  $0.29$  y  $0.27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , y representa el 5% de reducción en el contenido de humedad del suelo. En este tramo, el agua es fuertemente adsorbida y retenida en los poros por enlaces de tipo molecular. González et al. (2016), tomando los valores de la curva tensión humedad, según el modelo de Van Genuchten, reportaron resultados similares al encontrar que el contenido de humedad a -30 cbar, en un suelo Fluvisol, fue de  $0.34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

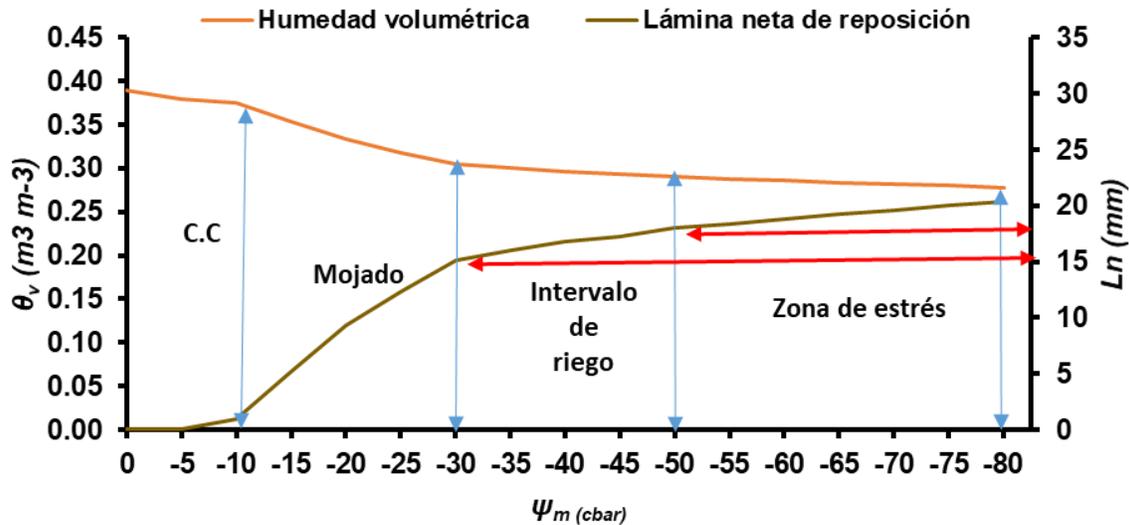
Las mediciones de los tensiómetros son útiles para decidir cuándo regar, porque brindan indicaciones continuas del contenido de humedad en el suelo. Sin embargo, no indican cuánta agua debe aplicarse. De ahí la importancia de la relación tensión-humedad-lámina de reposición. Para el suelo estudiado, se definieron cuatro zonas para el manejo del riego (flechas dobles azules), en función de la relación tensión-humedad-lámina de reposición. La interpretación de las lecturas es la siguiente:

De 0 a -10 cbar, el suelo está a la capacidad de campo o muy cercano, estos valores son normales si se considera un periodo de un día o dos después de un riego; de -10 a -30 cbar, indican que la humedad está a disposición de la planta con un esfuerzo mínimo y el contenido de humedad representa el 79% de la capacidad de campo; en este rango se considera no regar; de -30 a -50 cbar, en esta gama de lecturas está asegurada una buena oxigenación de las raíces, se recomienda realizar los riegos en este rango; de -50 a -80 cbar, rango de estrés por sequía fisiológica, se puede afectar la expansión foliar e, incluso, producirse el cierre estomático de las hojas.

Los análisis anteriores permiten definir las láminas netas de reposición para cualquier rango estudiado. Se destacan las comprendidas entre -30 y -50 cbar (flechas dobles rojas); para tensiones de -30 y -50 cbar, corresponden láminas netas de reposición de 15 y 18 mm,

respectivamente. Se deduce, además, que la curva que describe las necesidades de riego, es inversamente proporcional a la que describe el contenido hídrico, ambos en función de la tensión matricial. El modelo de mejor ajuste fue un polinomio de grado cinco:  $Ln = -0.0005\psi_m^5 + 0.025\psi_m^4 - 0.4504\psi_m^3 + 3.4219\psi_m^2 - 7.8496\psi_m + 4.844$ , con  $R^2 = 0.99$ .

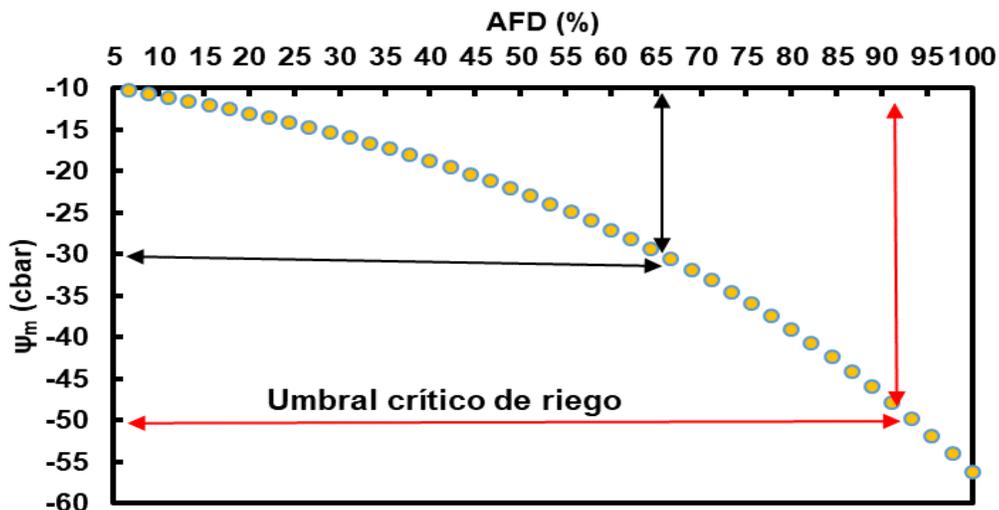
Figura 1. Relación entre la tensión de humedad, humedad volumétrica y Ln



Fuente: Elaboración propia.

Conocer la influencia de la humedad del suelo sobre la tensión permite valorar su efecto en el rendimiento. La figura 2 muestra la curva típica de retención de humedad, como porcentaje del agua fácilmente disponible (AFD). La forma de la curva define las tensiones de retención del agua en el suelo y la cantidad de energía que las raíces deben superar. Se deduce que, cuando se ha consumido, aproximadamente, el 65% del AFD, el suelo tiene una tensión de -30 cbar, y se corresponde con una fracción de agotamiento de 0.3.

Figura 2. Influencia del agua fácilmente disponible sobre la tensión de humedad



Fuente: Elaboración propia.

Para la programación del riego, es necesario identificar el nivel más bajo de contenido hídrico (umbral crítico), antes de regar, el cual permite satisfacer la evapotranspiración máxima del cultivo ( $ET_{m\acute{a}x}$ ). Se trata del límite inferior de humedad disponible, debajo del cual, la respuesta productiva del cultivo se aleja de la óptima y el rendimiento disminuye respecto al máximo. Por tanto, a partir del análisis realizado, y conociendo que -50 cbar se definió como el estado energético límite para riego (flechas dobles rojas) se puede afirmar que, el umbral crítico se alcanza cuando el cultivo consume, aproximadamente, el 90% AFD, y se corresponde con una fracción de agotamiento de 0.45.

Los valores críticos son diferentes para tipos de suelos específicos, cultivos y etapas de desarrollo. En las etapas críticas de crecimiento del cultivo, se utilizan valores bajos que resultan en una mayor frecuencia de riego. Los valores críticos también son función de las consideraciones económicas. El cultivo de frijol es sensible al estrés hídrico y se recomiendan fracciones de agotamiento inferiores a 0.45, para suelos con características similares al de esta investigación, con el objetivo de no afectar el rendimiento agrícola (Raes et al., 2022).

González et al. (2019), estudiando la variación del rendimiento, lámina de riego y el porcentaje de inhibición de la expansión foliar para diferentes porcentajes de agua fácilmente aprovechable en cultivo de frijol, en un suelo Ferralítico, encontraron que para 0% de consumo del AFD, el rendimiento fue de  $2.64 t ha^{-1}$  y para 100% de consumo AFD, el rendimiento fue de  $1.96 t ha^{-1}$ , es decir, se produjo una reducción del 25%. Los investigadores anteriormente citados comprobaron, además, que cuando se mantiene el límite de la humedad del suelo entre el 0% y el 50% de AFD, no hay reducciones significativas del rendimiento

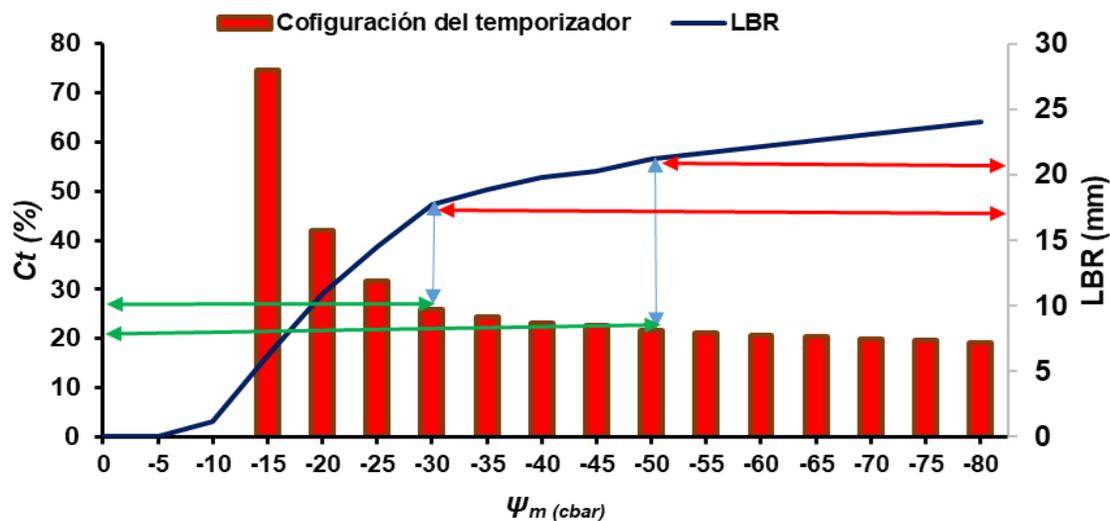
El cultivo de frijol tiene una primera fase, desde la germinación hasta prefloración, en la que los excesos de humedad son decisivamente perjudiciales (Raes et al., 2022). En esta fase, para un suelo de textura franco-limoso, lecturas de  $-50$  a  $-60$  cbar, medidas con tensiómetros de 15 cm, pueden marcar el momento de efectuar el riego. Posteriormente, durante el período floración-formación de las vainas, se regará al llegar al intervalo  $-35$  a  $-40$  cbar y en la fase de llenado de las vainas en tensiones de  $-20$  a  $-30$  cbar, ambas con tensiómetros de 30 cm.

La tensión matricial también se relaciona con la lámina bruta de reposición (LBR) y, con la configuración del temporizador porcentual (Ct) de la máquina de pivote central (figura 3). Para el rango de riego definido entre  $-30$  y  $-50$  cbar, deben aplicarse láminas brutas entre 18 y 21 mm (flechas dobles rojas), respectivamente.

Para aplicar estas láminas (18 y 21 mm), las configuraciones del temporizador porcentual son 26 y 22 % (flechas dobles verdes), respectivamente. Se puede observar que,  $\psi_m$  está relacionada de forma inversa con LBR, es decir, a menor tensión, mayor lámina bruta; Sin embargo,  $\psi_m$  está relacionada con Ct de forma directa, aunque no proporcional, ya que para el rango de tensiones de  $-50$  a  $-80$  cbar corresponde un rango de configuración de 19 a 22%. Es decir, una variación de  $-30$  cbar produce una variación de configuración del 3%.

El diagrama propuesto tiene un valor práctico importante ya que resulta una herramienta simple, que puede ser utilizada por ingenieros, técnicos y productores, para la definición operacional del riego en el cultivo de frijol, sobre todo, cuándo y cuánto regar y qué velocidad de trabajo requiere la máquina, a partir de la configuración de temporizador porcentual.

Figura 3. Diagrama de operación y manejo del riego en función de  $\psi_m$

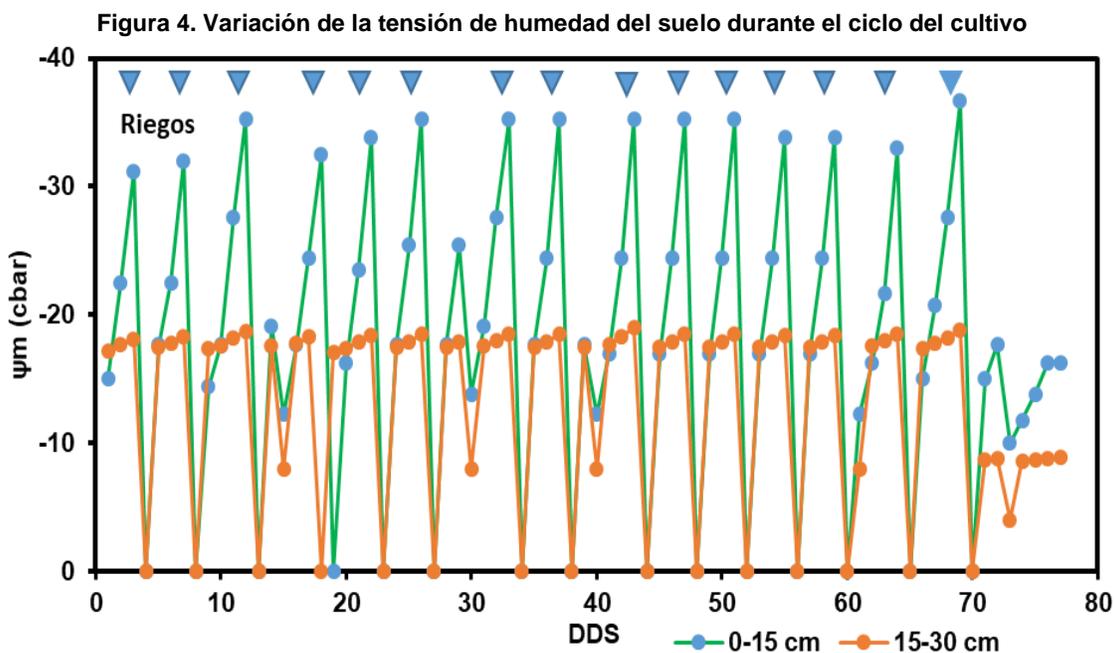


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4, se muestran las curvas de retención de humedad a dos profundidades, en la zona radicular del cultivo de frijol de acuerdo con la tensión definida con un margen de +5. Las caídas de las tensiones corresponden al incremento de humedad después de un riego o por precipitaciones. Los intervalos de riego fueron variables, entre 3 y 6 días y se aplicaron un total de 15 riegos como promedio. Por la variación de tensión de humedad entre riegos, se puede observar que las extracciones se producen, fundamentalmente, en la capa superficial registrada por los tensiómetros colocados de 0-15 cm, existiendo alguna extracción en la profundidad de 15-30 cm, para lo cual el trazado de tensión presenta una pequeña variación.

Por tanto, la tensión matricial de la zona del perfil de 0-15 cm de profundidad es el factor que define la influencia del suelo en el estado hídrico de la planta. La zona situada a 15-30 cm no

participa en la alimentación hídrica del cultivo en la proporción que lo hace la de 0-15 cm y, por tanto, su influencia en el grado de hidratación de la planta no resulta significativa. Estos resultados ponen de manifiesto que el agua aplicada en exceso percola más allá de la zona explorada por las raíces y no es consumida por el cultivo.



Fuente: Elaboración propia.

Se reporta que los cultivares de frijol con hábito de crecimiento de tipo II, desarrollan un sistema radicular poco profundo en la zona de estudio y, al analizar el patrón de extracción de humedad para una profundidad de 0.3 m, se comprobó que en el primer cuarto se concentró entre el 80% de las raíces, mientras que en el segundo el 12%, en el tercero el 5% y en el último, el 3%; es decir, en los primeros 15 cm se concentró el 90% de las raíces.

## Conclusiones

1. En las condiciones del ensayo, las medidas de la tensión matricial del suelo a 0.30 m de profundidad constituyen un buen indicador de la disponibilidad de agua del suelo y, por lo tanto, se considera una herramienta eficaz para la monitorización del riego en el cultivo de frijol.

2. La diferencia encontrada en cuanto a la utilidad de las medidas tensiométricas a 15 cm y 30 cm indica la importancia de elegir las láminas adecuadas de riego y del conocimiento del patrón de absorción de agua, como elementos básicos para el correcto manejo del riego.

### Referencias bibliográficas

- Aziz, M., Khan, M., Anjum, N., Sultan, M., Shamshiri, R.R., Ibrahim, S.M., Balasundram, S.K. & Aleem, M. (2022). Scientific Irrigation Scheduling for Sustainable Production in Olive Groves. *Agriculture*, 12 (4), 564. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040564>
- Bahadur, A., & Singh, J. (2021). Optimization of Tensiometer-Based Drip Irrigation Scheduling and Its Effect on Growth, Yield and Water Use Efficiency in Tomato (*Solanum lycopersicum*). *Agricultural Research*, 10(4), 675-681. <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00529-5>.
- Bonet, C. (2019). *Operación de sistemas de riego y drenaje. Elementos básicos*. Editorial. Académica Española.
- Duarte, C. E., Zamora, E., Herrera, J., González, F., & Chaterlán, Y. (2021). Manejo de las normas netas totales de riego en el frijol ante el cambio climático. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(4), 3-9. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586268743001/html/>
- González, F., Herrera, J., Cid, G. & López, T. (2016). Factores que afectan la respuesta de los cultivos al agua. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(3),11-17. <https://ojs.edicionescervantes.com/index.php/IAgric/article/view/822>
- González, F., López, D., Cisneros, E., Herrera, J. & Cid, G. (2019). Calibración y análisis de sensibilidad del modelo *Aquacrop* para frijol en suelo Ferralítico Rojo compactado. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(4), 3-12. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262756001/html/>

- González, O., Abreu, B., Herrera, M. & López, E. (2017). Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1), 70-77.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542017000100009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000100009)
- Hernández, A., Pérez, J., Bosch, D. & Castro, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Ediciones INCA.
- Núñez, F., Escobosa, I., Cárdenas, V., Santillano, J., Ruelas, J. R., Preciado, P. & Díaz, J. (2020). Tensión de humedad del suelo, crecimiento, eficiencia en el uso del agua y rendimiento de maíz cultivado en el noroeste de México. *Terra Latinoamericana*, 38 (4), 805-815. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.763>
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. & Fereres, E. (2022). Calculation procedures. Chapter 3. En: *Reference manual. AquaCrop (Version 7.0)*. <http://www.fao.org/3/br248e.pdf>
- Rodríguez, E., Placeres, Z. & Cisneros, E. (2021). Necesidades hídricas del frijol para las condiciones de “Laguna Blanca”, Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 13 (2), 10-15.  
<https://www.redalyc.org/journal/5862/586275348002/html/>
- Sundaram, P., K., Kumar, S., Shivani, Kumar, U. & Mondal, S. (2022). Tensiometer based irrigation scheduling in wheat (*Triticum Aestivum*) in middle Indo-Gangetic plains. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92 (2), 231–5. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i2.122227>
- Tornés, N., Brown, O., Gómez, Y. & Guerrero, A. M.(2016). Evaluación del modelo AquaCrop en la simulación del crecimiento del cultivo del frijol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3), 23-30.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542016000300003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000300003)