



Water Use for Bean Irrigation on Eutric Cambisol Soils

Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol

Dr.C. Omar González Cueto¹, Ing. Berenice Abreu Ceballo^{II}, Dr.C. Miguel Herrera Suárez^{III}, Dr.C. Elvis López Bravo¹

¹ Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, VC, Cuba.

^{II} Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”, Santa Clara, VC, Cuba.

^{III} Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ing. Agrícola, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

ABSTRACT. This research was conducted with the objective of evaluating the irrigation performance of bean crops in Eutric Cambisol soil conditions. The main parameters related to irrigation scheduling were determined. The water application for the crop and the behavior of climatic variables during the execution of the work were obtained. The results showed that the needs of crop water are satisfied with 14 irrigations, with a total irrigation of 2 517,72 m³ ha⁻¹, which is very similar to that proposed by several authors for crop beans. However, farmers performed 11 irrigations applying a total net irrigation of 4 843, 3 m³ ha⁻¹ consuming 762,4 m³ more of water to produce a ton of bean than the necessary, applying the planning irrigation proposed in this paper. Total net irrigation applied is far superior from obtained by the crop water needs, which brings about low efficiency in water use.

Keywords: water requirements; water balance; irrigation scheduling; water productivity.

RESUMEN. El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la realización del riego en cultivo del frijol en las condiciones de suelos Eutric Cambisol. Se determinaron los principales parámetros relacionados con la programación del riego y se obtuvo la aplicación de agua realizada al cultivo y el comportamiento de las variables climatológicas durante la realización de los trabajos. Los resultados mostraron que las necesidades hídricas del cultivo se satisfacen aplicando 14 riegos, con una norma total neta a aplicar de 2 517,72 m³ ha⁻¹ la cual es muy similar a la propuesta por varios autores para el cultivo del frijol. Sin embargo, la unidad de producción realizó 11 riegos aplicando una norma total neta de 4 843,3 m³ ha⁻¹ provocando un consumo de 762,4 m³ de agua más para la producción de una tonelada de frijol que la necesaria aplicando la planificación del riego propuesta en este trabajo. La norma total neta aplicada es muy superior a la obtenida por las necesidades hídricas del cultivo lo cual provoca poca eficiencia en el uso del agua.

Palabras clave: Necesidades hídricas; balance de agua; programación del riego; productividad del agua.

INTRODUCCIÓN

El frijol común es la leguminosa más consumida en el mundo. En la actualidad se producen cerca de 18 millones de toneladas anuales, en ambientes tan diversos como América Latina, norte de África, China, EUA, Europa y Canadá. América Latina es el mayor productor y consumidor, liderado por Brasil, México, Centroamérica y el Caribe. En Cuba se le ha prestado en los últimos años una gran atención, lográndose alcanzar en 2013 una superficie cosechada de 119 775 ha, con una producción de 129 800 t y un rendimiento agrícola de 1,08 t/ha (ONEI, 2015). El frijol se considera como la segunda fuente de proteína en África oriental y del sur y la cuarta en América tropical.

En Cuba las precipitaciones durante el período seco del año no son suficientes para obtener un desarrollo adecuado de

INTRODUCTION

Common bean is the most widely consumed legume in the world. Currently, about 18 million tons are produced annually, in such diverse environments as Latin America, North and Central Africa, China, USA, Europe and Canada. Within these, Latin America is the largest producer and consumer, led by Brazil, Mexico, Central America and the Caribbean. In Cuba it has been given in recent years much attention, achieving in 2013 a harvested area of 119,775 ha, with a production of 129 800 t and agricultural yield of 1.08 t/ha (ONEI, 2014). Bean is considered the second source of protein in eastern and southern Africa and the fourth in tropical America. In Cuba rainfall during the dry period of

la mayor parte de los cultivos, por lo cual el riego es necesario. Este período coincide con los ciclos completos de muchos cultivos como son la papa, el tabaco y las hortalizas y con el inicio y finalización de otros. El período seco es el escogido para el desarrollo de cultivos que son afectados por humedad excesiva en los suelos, como es el caso del frijol (*Phaseolus vulgaris*).

El riego es una práctica indispensable para alcanzar altos rendimientos y mejorar la calidad del grano. Las leguminosas son cultivos sensibles tanto al déficit como al exceso de agua. Las etapas más sensibles al déficit de agua, conocidas como etapas críticas; son las etapas de desarrollo vegetativo, prefloración y llenado de vainas.

Sistemas de riego de bajo costo, fiables y eficientes en el uso del agua son imprescindibles para alcanzar las producciones de alimentos necesarias para una agricultura sustentable y que contribuya a las políticas para la conservación de los recursos hídricos y la reducción de los gases de efecto invernadero. El uso de sistemas de riego desde un punto de vista sustentable deben considerar tanto criterios medioambientales como económicos (Daccache *et al.*, 2014; Tarjuelo *et al.*, 2015).

En los sistemas de producción agrícola un factor determinante en su sostenibilidad es la productividad del agua. González *et al.* (2014), definen la productividad del agua como la relación entre la cosecha física o económica por unidad de agua consumida por el cultivo. Este indicador es utilizado a fin de desarrollar estrategias de utilización de los recursos hídricos que permitan tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y empleo de estos recursos. Varios son los autores que han determinado este indicador como elemento de juicio para analizar la eficiencia en el uso del agua aportada a los cultivos, tanto como resultado de la implementación de estrategias de riego o como una medida del resultado de diferentes métodos de riego usados (Oweis y Hachum, 2006; Geerts y Raes, 2009; Sadras, 2009; Ahmadi *et al.*, 2010; Patané *et al.*, 2011; González *et al.*, 2014).

Para el riego exitoso de los cultivos es necesario que el agricultor conozca la evapotranspiración del cultivo en explotación, realizar una programación del riego que defina la cuantía y el momento de cada riego en dependencia de las necesidades de las plantas, conocer y controlar los principales factores que intervienen en la aplicación del agua a la parcela de acuerdo al sistema de riego empleado y lograr que las instalaciones estén bien diseñadas, manejadas y conservadas (Santos *et al.*, 2010).

El cultivo del frijol es uno de los principales beneficiados con la introducción de sistemas de riego de pivote central. Esta tecnología está presente en la unidad básica “Jesús Menéndez”, la cual se encuentra en suelos Eutric Cambisol, con características de suelos profundos con un nivel medio de plasticidad, por lo que dificulta el drenaje produciendo encharcamientos, de forma que un riego excesivo puede ser suficiente para dañar el cultivo. Por lo tanto, se hace necesario hacer una evaluación de la realización del riego para determinar si los requerimientos hídricos del frijol están siendo satisfechos. A partir de estos elementos se fundamenta esta investigación que tiene como objetivo: evaluar la eficiencia del riego en el cultivo del frijol “Velasco Largo” en las condiciones de la unidad básica “Jesús Menéndez”.

MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en los meses de enero a marzo de 2015. La tecnología de riego empleada fue por aspersión, con el empleo de una máquina de pivote central eléctrica “Western”.

the year are not sufficient for proper development of most crops, for that reason irrigation is necessary. This period coincides with the complete cycles of many crops such as potato, tobacco and vegetables. The dry period is chosen for the development of crops that are affected by excessive moisture in the soil, such as bean (*Phaseolus vulgaris*).

Irrigation is indispensable to achieve high yields and improve grain quality. Legumes are sensitive to both, deficit and excess of water. The most sensitive crop stages to water deficit are the vegetative growth, flowering and pod filling.

Irrigation systems with low cost, reliable and efficient in water use are essential to achieve the food production necessary for a sustainable agriculture and to contribute to policies for the conservation of water resources and reducing greenhouse gases. The use of irrigation systems from a sustainable point of view, should consider both environmental and economic criteria (Daccache *et al.*, 2014; Tarjuelo *et al.*, 2015).

In agricultural production systems, water productivity is a decisive factor for sustainability. González *et al.* (2014) define water productivity as the relationship between physical or economic yield per unit of water consumed by the crop. This indicator is used to develop strategies for managing water resources that contribute to more rational use of this natural resource. Several authors have identified this indicator as an element of judgment to analyze the efficiency of water supplied to crops, either as a result of irrigation strategies implementation or as an outcome measure from different irrigation methods used (Oweis & Hachum, 2006; Geerts & Dirk, 2009; Sadras, 2009; Ahmadi *et al.*, 2010; Patané *et al.*, 2011; González *et al.*, 2014).

For efficient crops irrigation it is necessary that the farmer knows the crop evapotranspiration, and performs an irrigation schedule that defines each irrigation amount and timing depending on the plant needs; also to know and take control of the main factors involved in the water application depending on irrigation system used and ensure that facilities are well designed, managed and preserved (Santos *et al.*, 2010).

In Cuba, the farm “Jesús Menéndez” produces beans in areas with center pivot irrigation systems. This farm is placed in over soil Eutric Cambisol, with characteristics of deep soil with an average plasticity, making it difficult to drain causing waterlogging, so that excessive irrigation can be sufficient to damage the bean crop. Therefore, it is necessary to evaluate the efficiency of irrigation in bean crop “Velasco Largo”, in the conditions of the farm “Jesus Menendez”.

METHODS

The research was carried out from January to March 2015. For irrigation a center pivot machine “Western” was used. Climatic variables such as minimum, average and maximum temperature, reference evapotranspiration and rainy were obtained from an agro-meteorological station nearby the experimental field. The water quality used meets the no limitation standards for irrigation.

Variables climáticas tales como la temperatura mínima, media y máxima, así como la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones fueron obtenidas de una estación agrometeorológica cercana al campo experimental. La calidad del agua utilizada en los experimentos responde a los estándares de no limitación para el riego.

La determinación de las necesidades hídricas del cultivo para el suelo en estudio se determinó mediante métodos conocidos. La capacidad de campo y punto de marchitez permanente se obtuvo según describe Pacheco *et al.* (2006), la densidad aparente se tomó $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ (Pacheco y Pérez, 2010), el coeficiente del cultivo, así como la evapotranspiración del cultivo, el agua disponible total y el agua fácilmente aprovechable se obtuvieron según (Allen *et al.*, 2006). Se determinó además la productividad del agua mediante los procedimientos descritos por González *et al.* (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un análisis diario de las principales variables climáticas según los datos tomados de la estación agrometeorológica. La Figura 1 presenta las temperaturas máximas, mínimas y medias por decenas, durante el ciclo del cultivo. La temperatura media se comportó sobre los 23 y 24 °C como promedio durante toda la campaña. En la quinta decena esta alcanzó valores de 19 °C muy favorable para el cultivo ya que el frijol sembrado entre los meses de octubre y enero necesita de temperaturas frescas para obtener el rendimiento promedio

Determination of crop water needs was obtained by known methods of Allen *et al.* (2006). Field capacity and wilting point were obtained as described by Pacheco *et al.* (2006). Crop coefficient and crop evapotranspiration, the total water available and easily usable water were obtained according to Allen *et al.* (2006). Water productivity was also determined using the procedures described by González *et al.* (2010)

RESULTS AND DISCUSSION

A daily analysis of major climatic variables according to data taken from the agro-meteorological station was made. Figure 1 shows the minimum, maximum and mean temperatures by each ten days, during the crop cycle. The mean temperature behaved about 23 and 24 °C as average throughout the campaign. Within 40 to 50 days, it reached values of 19 °C, very favorable for crop because the beans planted between months of October and January need cool temperatures to obtain good yields.

Regarding rain, as shown in Figure 2, during the months of January to March, it is highlighted that they were very low except between 10 to 20 days of the crop, raining a total of 8,83 mm. The values reached by the minimum, mean and maximum temperature plus the prevailing wind, caused the reference evapotranspiration was low for the period (Figure 3), so less irrigation is needed, because the plant transpires less and the sun absorbs less water available in plants.

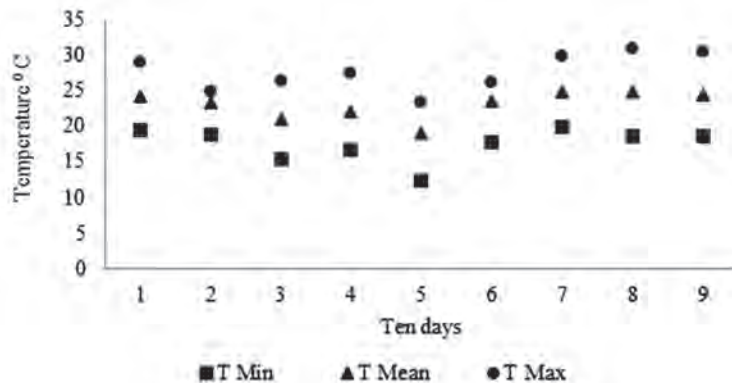


FIGURE 1. Minimum, maximum and average temperatures by each ten days during cycle crop.
 FIGURA 1. Temperaturas máximas, mínimas y medias por decenas, durante el ciclo del cultivo.

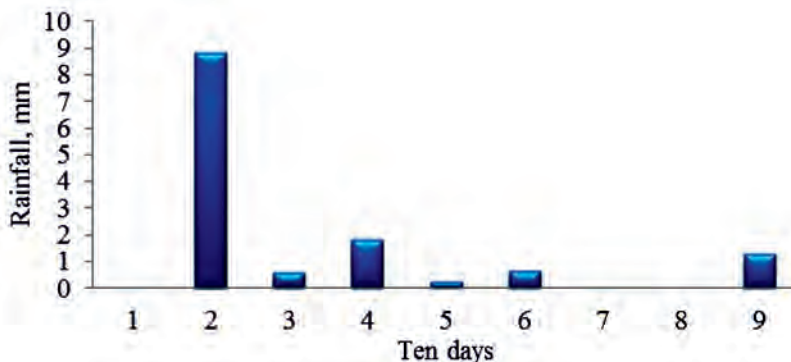


FIGURE 2. Rainfall during crop cycle.
 FIGURA 2. Precipitaciones durante el período evaluado.

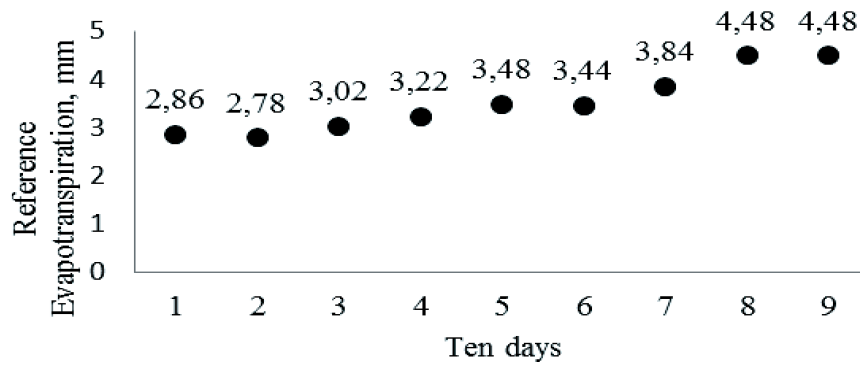


FIGURE 3. Reference evapotranspiration during crop cycle.
 FIGURA 3. Evapotranspiración de referencia durante el período evaluado.

esperado de 1,05 toneladas por hectárea.

En relación a las precipitaciones, como muestra la Figura 2, durante los meses de enero a marzo, se destaca que estas fueron casi inapreciables excepto para la segunda decena del período, cuando alcanzaron un valor de 8,83 mm. Durante estos días la alta humedad fue poco favorable para el cultivo ya que se debe tener en cuenta que para los primeros estados de desarrollo conviene mantener el suelo con poca humedad ya que el exceso de esta puede provocar clorosis, además de disminuir la calidad de los frutos. Debido a los valores alcanzados por las temperaturas mínimas, media y máxima más las condiciones de humedad y el viento reinante, provocaron como se muestra en la Figura 3, que la evapotranspiración de referencia fueran bajas para el período, hecho favorable ya que si la evapotranspiración de referencia es bajo necesita menos riego, porque la planta transpira menos y tanto las variables climáticas y el sol absorben menos el agua disponible de las plantas.

Las necesidades hídricas del cultivo se obtuvieron teniendo en cuenta las distintas fases fenológicas del frijol. La Tabla 1 muestra la planificación del riego realizada para satisfacer las necesidades hídricas durante todo el desarrollo del cultivo. En esta se aprecia que los requerimientos hídricos del cultivo se satisfacen aplicando 14 riegos, con una norma total neta a aplicar de 2 517,72 m³ ha⁻¹ la cual es muy similar a la de 2 560 m³ ha⁻¹ que menciona Herrera *et al.* (2013), como norma total neta de riego al frijol y cercana a

Crop water needs were obtained taking into account the different phenological phases of beans. Table 1 shows the irrigation planning made to meet the crop water needs throughout the growing season. The crop water needs are met by applying 14 irrigation, with a total irrigation net of 2 517,72 m³ ha⁻¹, which is very similar to that of 2 560 m³ ha⁻¹ mentioned by Herrera *et al.* (2013) as total net irrigation for beans and close to 3 000 m³ ha⁻¹ proposed by Duarte *et al.* (2015).

The farm planned 12 irrigation, one every seven days, with a partial net irrigation of 200 m³ ha⁻¹. During crop cycle, this planning was not fulfilled due to rainfall that occurred through January and February and due to application of net partial irrigation far higher than the planned irrigation. Table 2 shows the total irrigation realized and partial irrigations applied during period, which are far superior to those planned by the farm. It was applied a net total irrigation of 4 843, 3 m³ ha⁻¹, higher than the proposal by Duarte *et al.* (2015) and obtained from the calculations of crop water needs presented in Table 1.

TABLE 1. Irrigation scheduled
 TABLA 1. Programación del riego según cálculos realizados

Irrigation number	Water needs m ³ ha ⁻¹	Date	Irrigation number	Water needs m ³ ha ⁻¹	Date
1	160,00	01/1/2015	8	200,53	19/2/2015
2	103,48	10/1/2015	9	155,1	23/2/2015
3	193,48	20/1/2015	10	143,55	26/2/2015
4	195,80	29/1/2015	11	154,61	03/3/2015
5	125,16	03/2/2015	12	182,16	07/3/2015
6	219,84	08/2/2015	13	258,82	10/3/2015
7	183,26	14/2/2015	14	241,93	20/3/2015
Total	2 517,72				

TABLE 2. Total irrigation made by the farm
 TABLA 2. Total de riegos realizados por la unidad de producción

Irrigation number	Irrigation applied m ³ ha ⁻¹	Date	Irrigation number	Irrigation applied m ³ ha ⁻¹	Date
1	409,3	08/01/2015	7	307,0	16/02/2015
2	375,0	15/01/2015	8	614,0	23/02/2015

Irrigation number	Irrigation applied m ³ ha ⁻¹	Date	Irrigation number	Irrigation applied m ³ ha ⁻¹	Date
3	375,0	22/01/2015	9	614,0	04/03/2015
4	307,0	27/01/2015	10	614,0	12/03/2015
5	307,0	03/02/2015	11	614,0	18/03/2015
6	307,0	09/02/2015	Total	4 843,3	

los 3 000 m³ ha⁻¹ que propone Duarte *et al.* (2015).

La unidad productiva planificó aplicar un total de 12 riegos, uno cada siete días, con una norma parcial neta fija de 200 m³ ha⁻¹. Durante el ciclo del cultivo esta planificación no se cumplió una de las causas fue debido a las precipitaciones ocurridas durante el mes de enero y febrero y la otra debido a la aplicación de normas parciales netas de riego muy superiores a las planificadas. En la Tabla 2 se observa el total de riegos realizados y las normas parciales aplicadas durante el período, las cuales son muy superiores a las previstas por la propia unidad. Asimismo y como consecuencia de lo anterior aplicaron una norma total neta de 4 843, 3 m³ ha⁻¹, muy superior a la propuesta por Duarte *et al.* (2015) y a la obtenida de los cálculos de las necesidades hídricas del cultivo presentadas en la Tabla 1.

Un factor importante a considerar, en cuanto a la realización de los riegos a este cultivo por la unidad de producción es que no se tuvo en cuenta la tensión de humedad existente en el suelo. Durante la investigación se encontró que la unidad no disponía de tensiómetros para obtener la tensión del suelo y así aplicar el agua cuando exactamente el cultivo lo necesitaba. Esta es una medida muy aplicada y práctica para lograr ahorros en el uso del agua. Pacheco y Pérez (2010), determinaron para el cultivo de la papa en esta misma empresa, mediante la utilización de tensiómetros, que se hacían riegos excesivos a la papa, provocando una menor eficiencia en el uso del agua.

De haberse aplicado el plan de riego propuesto según Figura 4 se hubiera alcanzado un mejor aprovechamiento del agua, debido a que en las 3 ha cosechadas se obtuvieron 3,28 t de frijol, lo cual al relacionarlo con el agua según la programación obtenemos un indicador de 0,0013 t de frijol por cada m³ de agua empleado. Sin embargo al analizar el agua regada se obtiene un indicador de 0,0006 t/m³. Con la planificación del riego según las necesidades hídricas solo eran necesarios 767,6 m³ de agua para producir una tonelada de frijol y con el riego realizado en la unidad se emplearon 1 476,61 m³ de agua para obtener la misma producción, lo que demuestra que con el riego empleado se derrochó agua, la cual es un recurso que no se puede desperdiciar. Cisneros *et al.* (2007), muestran como la aplicación de agua a los cultivos, en una empresa piloto de la provincia Mayabeque, casi duplica las necesidades del cultivo, hecho que en nada beneficia la disponibilidad de agua para el futuro, frente a las cada vez más frecuentes sequías. El rendimiento agrícola del cultivo fue de 1 093,33 kg/ha y se le aplicaron 4 843,3 m³/ha de agua lo cual representa una productividad del agua de 0,22 kg/m³, valor inferior al intervalo de 0,6 a 1,91 kg/m³ determinado por González *et al.* (2014), a partir de datos de experimentaciones de campo realizadas en distintas condiciones de suelo y clima de Cuba. Una primera explicación puede ser debido al bajo rendimiento agrícola alcanzado aquí, el cual es inferior al utilizado por estos mismos autores (1 600 a 2 980 kg/ha). Sin embargo, el principal factor que provoca esta baja productividad del agua en el cultivo es la aplicación de agua en exceso. De haberse aplicado el agua calculada según las necesidades del cultivo la productividad del agua hubiera ascendido hasta 0,43, todavía inferior al reportado. Ya en este caso se considera que es debido al bajo rendimiento agrícola dado que la norma total de

An important factor to consider in the crop irrigation made by the farm is that the soil moisture tension, which allow the determination of plant soil water availability, was not taken into account. Monitoring soil moisture can be used to decide the amount and frequency of water applications, avoiding deep percolation losses and runoff. This is a very simple practice to achieve savings in water usage. Pacheco & Pérez (2010) determined, using tensiometers for potatoe in the same farm, excessive irrigation resulted in reduced efficiency in water use.

If the irrigation scheduled on Table 1 had been applied, according to Figure 4, a better water use would have been reached, because in the 3 ha harvested, 3,28 ton of beans were obtained, reaching an indicator of 0,0013 ton of beans per m³ of water used. However, when analyzing this indicator for the water irrigated, a value of 0,0006 t m³ is obtained. With irrigation scheduled according to water needs only 767,6 m³ of water were required to produce one ton of beans, but with the irrigation done in the farm 1 476,61 m³ of water were used to obtain the same production, demonstrating how much water it was spent without productive results.. Cisneros *et al.* (2007) shows how the application of crops irrigation in a farm of Mayabeque province, almost double crop needs, a fact that does not benefit the availability of water for the future, against the increasingly frequent droughts.

Crop yield was 1 093,33 kg ha⁻¹ and 4 843,3 m³ ha⁻¹ of irrigation water were applied, representing a water productivity of 0,22 kg m⁻³, which is below the range of 0,6 to 1,91 kg m⁻³ determined by González *et al.* (2014) from data of field experiments conducted under different conditions of soil and climate of Cuba. One explanation may be due to low agricultural yield achieved here, which is lower than the one used by these authors (1 600 to 2 980 kg ha⁻¹). However, the main factor that causes this low water productivity is the excess of water application. If the needs of crop water had been satisfied from irrigation scheduled (Table 1), water productivity had risen to 0.43, still lower than reported. But, in this case, it is considered that it is due to low crop yields since total net irrigation calculated is less than the one referred by González *et al.* (2014).

Lopez *et al.* (2011) consider that low efficiency in the irrigation systems is one of the most acute problems affecting areas

agua calculada es inferior a la manejada por González *et al.* (2014).

López *et al.* (2011), consideran que la baja eficiencia en la operación de los sistemas de riego constituye uno de los problemas más agudos que afectan a las áreas bajo riego en Cuba. Estos autores obtuvieron para el frijol, un valor máximo de la productividad del agua de 0,93 kg/m³ con la utilización 3 140 m³/ha. El aumento del consumo de agua por la planta, a a partir de este valor, implicó un decrecimiento de la productividad, o sea del rendimiento agrícola por m³ de agua consumida, lo cual demuestra la importancia de la aplicación a la planta de solo el agua necesaria para obtener su pleno desarrollo y máximo rendimiento. La situación del cambio climático y las cada vez más frecuentes sequías promueven el uso eficiente del agua y su utilización para el riego de forma tal que se obtengan las más altas productividades con su uso.

Una inadecuada explotación de las técnicas de riego ocasiona pérdidas millonarias al país y provoca daños irreparables al medio ambiente como la salinización de los suelos, contaminación de los acuíferos o degradación de las mejores tierras, las que por lo general están bajo riego (Cisneros *et al.*, 2011)

under irrigation in Cuba. These authors obtained for beans, a maximum value of water productivity of 0,93 kg m⁻³ using 3 140 m³ ha⁻¹ of water. Consumption higher than the previous reference value caused a decrease in water productivity and from an environmental point of view it is detrimental because surface runoff, dragging chemicals into aquifers and soil salinity are increased. Climate changes and increasingly frequent droughts promote the efficient water use and its utilization for irrigation so as highest water productivities will be obtained (Cisneros, 2011).

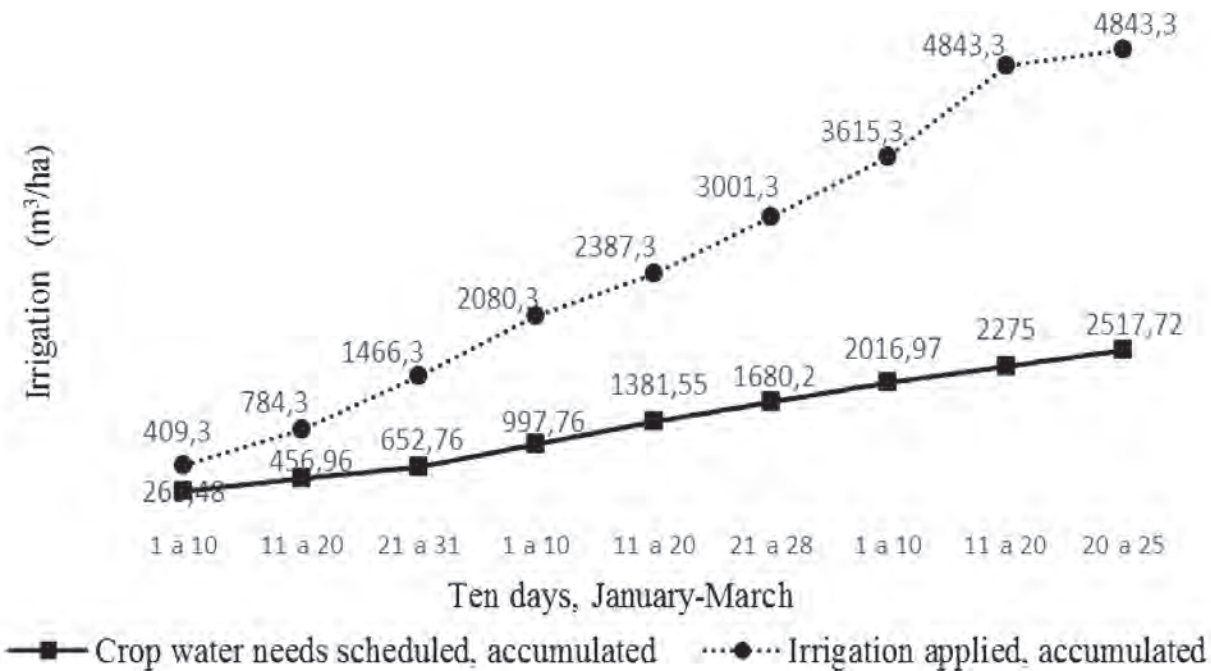


FIGURE 4. Crop water needs scheduled and irrigation applied during crop cycle, ten days by month, beginning on January 1th.

FIGURA 4. Necesidades de agua y agua aplicada acumulada durante todo el período de establecimiento del cultivo, en decenas por meses, comenzando el 1 de enero.

CONCLUSIONES

- Los resultados mostraron que las necesidades hídricas del cultivo se satisfacen aplicando 14 riegos, con una norma total neta a aplicar de 2 517,72 m³ ha⁻¹ la cual es muy similar a la propuesta por otros autores para el cultivo del frijol. Sin embargo, la unidad de producción realizó 11 riegos aplicando una norma total neta de 4 843,3 m³ ha⁻¹ provocando un consumo de 709,0 m³ de agua más para la producción de una tonelada de frijol que la necesaria aplicando la planificación del riego propuesta en este trabajo. La norma total neta aplicada es muy superior a la obtenida por las necesidades hídricas del cultivo lo cual provoca poca eficiencia en el uso del agua.

CONCLUSIONS

- The research showed that crop water needs are met by applying 14 crop irrigations with a total net irrigation of 2 517, 72 m³ ha⁻¹ which is very similar to that proposed by other authors for bean cultivation. However, the farm performed 11 irrigation applying a total net irrigation of 4 843,3 m³ ha⁻¹ using 709,0 m³ more of water to produce a ton of bean that irrigation scheduled calculated in this paper. Total net irrigation applied is far superior to that obtained by crop water needs causing low efficiency in water use and water productivity.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi, S.H.; Andersen, M.N.; Plauborg, F.; Poulsen, R.T.; Jensen, C.R.; Sepaskhah, A.R.; Hansen, S.: "Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity", *Agricultural Water Management*, 97(11): 1923-1930, 2010, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2010.07.007.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M.: *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. FAO, Roma, 298 p., 2006, ISBN: 978-92-5-304219-7.
- Cisneros, E.; González, P.; Solano, O.; Placeres, Z.; Lambert, M.: "El servicio de asesoramiento al regante una alternativa para mitigar los efectos negativos de la sequía", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(1): 37-40, 2007, ISSN: 2071-0054.
- Cisneros, Z.E.; López, S.T.; Leyva, L.A.; Placeres, M.Z.: "Consideraciones sobre el servicio de asesoramiento al regante para las condiciones de Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3): 41-45, 2011, ISSN: 2071-0054.
- Daccache, A.; Ciurana, J.S.; Rodríguez, D.J.A.; Knox, J.W.: "Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region", *Environmental Research Letters*, 9(12): 1-13, 2014, ISSN: 1748-9326, DOI: 10.1088/1748-9326/9/12/124014.
- Duarte, D.C.; Herrera, P.J.; López, S.T.; González, R.F.; Zamora, H.E.: "Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba", *Ingeniería Agrícola*, 5(4): 46-51, 2015, ISSN: 2306-1545, 2227-8761.
- Geerts, S.; Raes, D.: "Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas", *Agricultural Water Management*, 96(9): 1275-1284, 2009, ISSN: 03783774, DOI: 10.1016/j.agwat.2009.04.009.
- González, R.; Herrera, P.J.; López, S.T.; Cid, L.G.: "Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 21-27, 2014, ISSN: 2071-0054.
- González, R.F.; Herrera, P.J.; López, S.T.: "Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1): 95-97, 2010, ISSN: 2071-0054.
- Herrera, J.; García, A.; Cum, R.; Rodríguez, M.R.; Pujol, R.; Cid, G.; Cisneros, E.; Alemán, C.; Roque, R.: *Uso eficiente de sistemas de riego. Manual práctico sobre el riego de los cultivos*, Ed. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, MINAG, La Habana, Cuba, 2013, ISBN: 978-959-285-021-7.
- López, T.; Herrera, J.; González, F.; Cid, G.: "Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelos y disponibilidad hídrica", *Ingeniería Agrícola*, 1(2): 41-47, 2011, ISSN: 2227-8761.
- ONEI: "Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca", En: *Anuario Estadístico de Cuba, 2014*, Ed. ONEI, La Habana, Cuba, p. 445, 2015, ISBN: 978-959-7119-62-3.
- Oweis, T.; Hachum, A.: "Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa", *Agricultural Water Management*, 80(1-3): 57-73, 2006, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2005.07.004.
- Pacheco, J.; Alonso, N.; Pujol, P.; Camejo, E.: *Riego y drenaje*, Ed. Félix Varela, La Habana, Cuba, 414 p., 2006, ISBN: 978-959-258-999-2.
- Pacheco, S.J.; Pérez, C.A.: "Evaluación del manejo del riego de la papa en la Empresa de Cultivos Varios «Valle del Yabú», Santa Clara, Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 47-52, 2010, ISSN: 2071-0054.
- Patanè, C.; Tringali, S.; Sortino, O.: "Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions", *Scientia Horticulturae*, 129(4): 590-596, 2011, ISSN: 0304-4238, DOI: 10.1016/j.scienta.2011.04.030.
- Sadras, V.O.: "Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta-analysis", *Irrigation Science*, 27(3): 183-190, 2009, ISSN: 0342-7188, 1432-1319, DOI: 10.1007/s00271-008-0141-0.
- Santos, P.L.; de Juan, J.A.; Picornell, B.M.R.; Tarjuelo, J.M.: *El riego y sus tecnologías, [en línea]*, Ed. CREA-UCLM, 1.ª ed., España, 296 p., 2010, ISBN: 978-84-692-9979-1, Disponible en: http://www.academia.edu/download/33889207/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
- Tarjuelo, J.M.; Rodríguez-Díaz, J.A.; Abadía, R.; Camacho, E.; Rocamora, C.; Moreno, M.A.: "Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies", *Agricultural Water Management*, 162: 67-77, 2015, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2015.08.009.

Received: 10/10/2015.

Approved: 14/11/2016.

Omar González-Cueto, Prof. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, VC, Cuba. E-mail: omar@uclv.edu.cu

Berenice Abreu-Ceballo, E-mail: omar@uclv.edu.cu

Miguel Herrera-Suárez, E-mail: miguelhs2000@yahoo.com

Elvis López-Bravo, E-mail: elvislb@uclv.edu.cu

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.